



## **ESTUDO DA GESTÃO EFICIENTE DA ÁGUA NA CULTURA DO PIMENTO COM FILMES DE COBERTURA DO SOLO**

**Maria do Carmo Canas Fernandes Temudo Barata**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia do Ambiente**

Orientador: Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte

Coorientador: Especialista Mestre Raquel Alexandra Cardoso Costa

### **Júri:**

Presidente: Doutor António José Guerreiro de Brito, Professor Associado com agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutora Elizabeth Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

Doutora Cláudia Saramago de Carvalho Marques dos Santos Cordovil, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

## Agradecimentos

A realização desta Dissertação de Mestrado só foi possível graças à colaboração de algumas pessoas que constituíram um apoio valioso e que dispensaram parte do seu tempo para a concretização do presente trabalho.

Em primeiro lugar, agradeço à minha orientadora Professora Doutora Elizabeth D’Almeida Duarte o seu contínuo apoio e incentivo, as suas sugestões e ensinamentos, a sua orientação e amizade. Agradeço-lhe a oportunidade que me proporcionou ao realizar este trabalho no âmbito do Projeto Europeu FP7 “Development of enhanced biodegradable films for agricultural activities” – AGROBIOFILM.

Agradeço à Empresa Silvex – Indústria de Plásticos e Papéis SA, na pessoa do Coordenador do Projeto Dr. Paulo Azevedo e ao Engº Carlos Rodrigues.

Um agradecimento especial a toda a equipa do “Agrobiofilm” que de uma maneira ou de outra me ajudou no decorrer do ensaio, nomeadamente à Raquel Costa, ao Artur Saraiva e à Ana Costa. Agradeço também ao Victor Hugo, Produtor associado da empresa Monliz, o espaço gentilmente cedido na sua propriedade para colocação do ensaio.

Quero ainda agradecer aos meus Pais e irmão, pelos conselhos e ajuda ao longo deste período, pelas horas que disponibilizaram relatando e respondendo às minhas perguntas. Sem o seu apoio nada teria sido possível!

A todos os colegas e amigos que fizeram parte do meu percurso académico e me ajudaram a chegar até aqui. Agradeço, reconhecidamente, aos que leram o manuscrito elaborando sugestões continuamente ao longo deste processo. A todos os que, de algum modo, tornaram possível a sua realização. Obrigado!

Mª do Carmo Barata

## Resumo

As técnicas de cobertura do solo estão amplamente reconhecidas pelas vantagens que conferem às culturas, tendo esta técnica sido intensificada ao longo das últimas décadas. Atualmente somos confrontados com a problemática da gestão e eliminação dos filmes de cobertura devido aos problemas ambientais associados e ao custo elevado de envio para destino final adequado.

Os filmes biodegradáveis têm a vantagem de poderem ser incorporados no solo após cada ciclo de produção, decompondo-se pela atividade dos microrganismos.

O objetivo deste trabalho foi a avaliação da eficiência de rega com a utilização de um filme biodegradável (BMF - *Agrobiofilm*®) e um convencional (PE) durante um período de três meses, numa cultura de ciclo curto visto a água possuir um enorme valor económico, ambiental e social. Sendo um estudo da gestão da dotação de rega, uma mais-valia para o agricultor.

O desempenho das duas modalidades foi comparado no campo e também foi realizado um ensaio laboratorial visando estudar a permeabilidade dos filmes em situações controladas. Os resultados mostram que o BMF representa uma alternativa viável aos filmes de PE, apresentando menor consumo de água face ao de PE, na ordem dos 12%, mantendo a produtividade e aumentando a eficiência de utilização de água de rega.

**Palavras-chave:** eficiência de rega, filmes biodegradáveis, permeabilidade, plasticultura, polietileno

## Abstract

The use of plastic films in agriculture is expanding worldwide over the last decades because of their benefits on crop growth and yield, increasing economic benefit. However, its utilization causes a serious disadvantage with massive quantities of waste. The introduction of biodegradable films, which can be disposed directly into the soil, can be one possible solution to this problem. Biodegradable plastics for mulching practices appeared on the market and now they are considered an appropriate solution for such a problem.

In the present research results of experimental tests carried out on biodegradable films used in Bell-pepper protected cultivation are presented. The aim of this work was to evaluate and compare the performance of biodegradable mulch films with the conventional polyethylene ones in relation to water use efficiency. The water vapour permeability was also evaluated in laboratorial experiments with both kinds of films. Water supply is a major constraint to crop production in the Mediterranean region. Efficient use of water by irrigation is becoming increasingly important and so the objective of this study was to evaluate the water use efficiency by using biodegradable mulches in horticulture.

**Keywords:** biodegradable films, crop production, plastic films, polyethylene, short cycle, water use efficiency

## Extended Abstract

Modern societies use plastic for many different purposes. (Philp *et al.*, 2012) The world consumption of plastic materials in agriculture amounts yearly to 6.5 million tons, more than 10% of the total consumption refers to plastic films for soil mulching. (Plasticulture, 2001; Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2006)

This practice is defined as the application of various kinds of cover materials to the soil surface. It benefits crop growth and development, increases yield and precocity, decreases the incidence of some plant diseases, and conserves soil moisture. (Liang *et al.*, 2011) Mulch is also considered a useful management technology for improving soil temperature and quality.

The main negative disadvantage of this increasing application of plastic films for mulching practices is connected to lead up the plastic wastes after each crop cycle. This situation creates an associated environmental impact due to the great amount of agricultural plastic waste that usually rises in agricultural fields. Nowadays, just a small percentage of these residuals are currently recycled. (Briassoulis, 2005)

A solution to this problem can be the introduction in agriculture of films produced with biodegradable raw materials. (Briassoulis, 2005) A large portion of this is left on the field or burnt uncontrollably by the farmers, emitting harmful substances with the associated negative consequences to the environment. (Briassoulis, 2006; Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2006; Moreno and Moreno, 2008)

Searching for new materials as biodegradable films and their competitive introduction to the market can be a promising solution for this global problem. Due to the large amount of conventional agricultural mulched films used, derived from fossil raw materials, and the environmental problems related with the life cycle of this non-renewable material, biodegradable mulch films have been developed to replace the conventional polyethylene. (Saraiva *et al.*, 2012)

The use of biodegradable mulch films seems to be a promising solution because the films can degrade right in the field; therefore, the costs of removal and disposal, will disappear, and the amount of waste ending up in landfills can be avoided. (Kijchavengkul, 2008)

Biodegradation in the soil is a natural process due to the action of micro-organisms such as bacteria, fungi and algae. Residual breakdown products of biodegradable films after each crop cycle period should not be toxic or persist on the environment, and should be completely mineralized into carbon dioxide or methane, water and biomass by means of soil

micro-organisms in a reasonable time frame. (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2006; Ammala *et al.*, 2011)

The first biodegradable films were made with a starch-based polymer produced by Novamont Company (Novara, Italy) under the trade name Mater-Bi. These kind of biodegradable films were especially formulated to meet the requirement for mechanical installation, duration according to type and time of cultivation, safe disposal directly into the cultivation soil upon rototilling. Several field tests carried out in Europe have shown that the material can be used successfully applied for several crops. (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2006)

There are two main degradation mechanisms which may be considered for biodegradable mulch films: (1) photodegradation and (2) biodegradation. Photodegradation is the degradation process due to the exposure of films to certain amount of solar radiation. As a consequence of this exposure, the films become more brittle, with cracks, tears, holes, occurring before finally disintegrating into small flakes. Biodegradation, however, is a degradation process resulting from the action of naturally occurring microorganisms. (Kijchavengkul, 2008)

In the present work, results of experimental tests carried out on biodegradable films used in Bell-pepper protected cultivation are presented. The field trials took place in Alpiarça, Ribatejo region, Portugal following the traditional techniques and were performed during three months.

Water supply is a major constraint to crop production in the Mediterranean region. The increased competition for water between agricultural, industrial and urban consumers creates the need for continuous improvement of irrigation practices in commercial vegetable production around the world. (Sezen *et al.*, 2006)

The aim of this work is related to this issue, in order to evaluate the water use efficiency by using biodegradable plastic mulches in horticulture. The water vapour permeability (WVP) was monitored in laboratorial experiments with both kinds of films. The impact of each mulch film in the soil moisture and temperature were also evaluated. Another objective of this study was to evaluate and compare the agronomic performance of biodegradable mulch films with the conventional polyethylene ones.

The overall results obtained are valid for Mediterranean climate conditions. The equipment and cultural practices used did not change by the use of biodegradable films confirming other author's results, which can be a clear advantage for the dissemination of Agrobiofilms® (Costa *et al.*, 2014). The results obtained with BMF comparing to PE show adequate soil temperature and water volume content (WVC) although a bit lower in BMF treatment in both measurements than in PE. Globally BMF modality spent less water than PE to comparable

levels of productivity. There are also good results in terms of agronomic performance, productivity and quality. From the results achieved during this study it can be concluded that Agrobiofilm® it's a very promising biodegradable film and may be a viable and sustainable option to substitute conventional polyethylene mulching. We believe that this study gave important information that can be the basis to further studies that confirm the results obtained in lab and real conditions in order to improve our sustainable agricultural practices all over the world.

Agrobiofilm Project was funded by the European Union's Seventh Framework Program (FP7/2007-2013) being in charge of REA – Research Executive Agency – under the grant agreement number 262257.

# Índice

<b>Agradecimentos</b>	<b>II</b>
<b>Resumo</b>	<b>III</b>
<b>Abstract</b>	<b>IV</b>
<b>Extended Abstract</b>	<b>V</b>
<b>Índice de Tabelas</b>	<b>X</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>XI</b>
<b>Lista de Abreviaturas</b>	<b>XIII</b>
<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento do tema	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Estrutura da dissertação	2
<b>2. Revisão Bibliográfica</b>	<b>3</b>
2.1. Competição pela água	3
Considerações Gerais	3
Principais consumos	3
Princípio de Sustentabilidade no consumo de Água	4
2.2. Água para Rega	5
Importância da Gestão da Rega	6
Sistemas de Rega	6
Perspetiva Económica	7
Alterações Climáticas e Rega	8
2.3. A utilização de plástico no mundo	10
Considerações Gerais	10
A Plasticultura na Atividade Agrícola	10
2.4. A Utilização de filmes para cobertura de solo na Agricultura	11
Tipos de Plásticos de Cobertura do Solo	11
Considerações gerais sobre as cores utilizadas em filmes de cobertura	12
Vantagens dos Plásticos de Cobertura	16
Desvantagens dos Plásticos de Cobertura	19
2.5. Filmes de Cobertura Biodegradáveis	22



Filmes de Cobertura Biodegradáveis e suas Propriedades	22
Tipos de Polímeros Biodegradáveis	23
Mater-bi	24
Vantagens da Utilização dos Plásticos Biodegradáveis	25
Legislação Aplicável	25
2.6. A Cultura do Pimento no Mundo e em Portugal	26
Origem e História da Cultura	26
Enquadramento taxonómico e Situação Botânica	26
Utilizações e Importância Económica	27
Composição Química e Valor Nutritivo	28
Aspetos Morfológicos e Fisiológicos das Plantas	28
Necessidades de água e rega	30
Preferências Edáficas	31
2.7. Tecnologia de Produção do Pimento para Indústria	31
Rotação	31
Instalação da cultura	31
Preparação do solo	32
Sistemas de cultura	32
Método de Rega da cultura	33
<b>3. Material e Métodos</b>	<b>35</b>
<b>4. Resultados e Discussão</b>	<b>40</b>
<b>5. Conclusões</b>	<b>55</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>56</b>
<b>Anexos</b>	<b>60</b>

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 2.1</b> - Dinâmica dos Usos da Água (km <sup>3</sup> /ano) à escala mundial (de SHIKLOMANOV 2000 citado por Pereira s/d) <i>in</i> Oliveira, 2011	4
<b>Tabela 2.2</b> - Classificação Portuguesa dos Sistemas de Rega; adaptado de Raposo, 1996	7
<b>Tabela 2.3</b> - Enquadramento taxonómico da planta de pimento	26
<b>Tabela 2.4</b> - Classificação botânica da planta de pimento	27
<b>Tabela 2.5</b> - Informações para a avaliação das necessidades de água e para a condução da rega na cultura do pimento. (Fontes: Allen <i>et al.</i> (1998); Sanders (1997)) <i>in</i> Almeida, 2006	30
<b>Tabela 2.6</b> - A cultura do pimento em Portugal; adaptado de Almeida, 2006 atualizado com dados do INE para 2012	33
<b>Tabela 3.1</b> - Principais características dos filmes de cobertura	35
<b>Tabela 3.2</b> - Planificação sequencial das fases de campo	36
<b>Table 1</b> - Mulch films main characteristics	44
<b>Table 2</b> - Temperature and Water volume content obtained with soil probes at 15 cm depth	46
<b>Table 3</b> - Averages of Soil temperature (°C) and Water volume content (%)	47
<b>Table 4</b> - Monthly water consumption (m <sup>3</sup> )	48
<b>Table 5</b> - Water vapour permeability values obtained in the laboratorial experiment	50
<b>Table 6</b> - Absolute and relative comparison of BMF and PE treatments	51

## Índice de Figuras

<b>Figura 2.1</b> - Evolução da área regada a nível mundial, <i>in</i> <a href="http://www.worldwatch.org">www.worldwatch.org</a> – FAO	4
<b>Figura 2.2</b> - Os três pilares da sustentabilidade (de ADAMS 2006) <i>in</i> Oliveira, 2011	5
<b>Figura 2.3</b> - A: Produção de plásticos por regiões em 2012 e B: Produção global de plásticos; <i>in</i> PlasticsEurope, 2013	11
<b>Figura 2.4</b> - Perspectiva para 2020, um cenário desafiador mas realista; <i>in</i> PlasticsEurope, 2013	11
<b>Figura 2.5</b> - Total de plásticos reciclados e recolhidos entre 2006 e 2012; <i>in</i> PlasticsEurope, 2013	12
<b>Figura 2.6</b> - Filme de polietileno convencional preto, atualmente o mais usado na cultura do pimento, <i>in</i> <a href="http://www.agrobiofilm.eu">www.agrobiofilm.eu</a>	13
<b>Figura 2.7</b> – Aspeto visual do filme de cobertura de alta reflexão	14
<b>Figura 2.8</b> - Tipos de bioplásticos, biodegradáveis e não-biodegradáveis <i>in</i> Philp <i>et al.</i> , 2012	15
<b>Figura 2.9</b> - Capacidade de produção global de bioplásticos <i>in</i> Philp <i>et al.</i> , 2012	16
<b>Figura 2.10</b> - Pilhas de resíduos plásticos agrícolas heterogéneos e sujos entregues numa indústria de reciclagem; <i>in</i> LabelAgriWaste Project, 2006 – 2009	21
<b>Figura 2.11</b> - Percentagem de Plástico reciclado na Europa <i>in</i> Cicloplast, 2011	21
<b>Figura 2.12</b> - Esquema da biodegradabilidade total de Mater-Bi® <i>in</i> <a href="http://www.novamont.com">www.novamont.com</a>	23
<b>Figura 2.13</b> - Aspeto visual das diferentes formas de Mater-Bi® <i>in</i> <a href="http://www.novamont.com">www.novamont.com</a>	24
<b>Figura 2.14</b> - Danos causados pelas elevadas temperaturas e insolação	25
<b>Figura 2.15</b> - Planta e flor do pimento ( <i>C. annuum</i> L.) <i>in</i> <a href="http://cultivehortaorganica">cultivehortaorganica</a>	27

<b>Figura 2.16</b> – A: Planta de pimento conduzida a dois braços nos estádios iniciais da cultura; <i>in</i> Almeida, 2006 e B: Absorção média ao longo da profundidade radical <i>in</i> Raposo, 1996	29
<b>Figura 2.17</b> - Aspeto visual de plântulas de pimento em placas de isopor antes da transplantação <i>in</i> cultivehortaorganica	32
<b>Figura 2.18</b> - Aspeto visual da preparação mecânica de camalhões <i>in</i> cultivehortaorganica	32
<b>Figura 2.19</b> - Aspeto visual de fita de rega; <i>in</i> japl-lojaonline	34
<b>Figura 2.20</b> - Padrões de humedecimento típicos a partir de um emissor; <i>in</i> Oliveira, 2011	34
<b>Figura 3.1</b> – Diagrama esquemático do ensaio de campo	36
<b>Figura 3.2</b> – Processo de cobertura do solo	36
<b>Figura 3.3</b> – Amostras dos filmes de cobertura: A - BMF e B - PE	37
<b>Figura 3.4</b> - Materiais usados no ensaio laboratorial: A – Banda de borracha, B – Recipiente cilíndrico e C – Excicador	38
<b>Figura 3.5</b> - Aspeto visual do ensaio, Parte I	38
<b>Figura 3.6</b> - Aspeto visual do ensaio, Parte II	38
<b>Figura 3.7</b> - Aspeto final do ensaio – Parte II: A, B,C	38
<b>Figura 3.8</b> – Transferência de Vapor através dos filmes de cobertura	39
<b>Figure 1</b> - Field trials Layout	44
<b>Figure 2</b> - Irrigation requirements in the two modalities	47
<b>Figure 3</b> - T (°C) and WVC (%) at 15 cm depth in both mulch treatments	49
<b>Figure 4</b> - Laboratorial experiment determining Water vapour permeability in Bio mulch film and Conventional polyethylene	50
<b>Figure 5</b> - Increment in the average WVC values in the presence of precipitation, 21st – day without precipitation and 28th – day with precipitation	51

## Lista de Abreviaturas

<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>BMF</b>	Biodegradable Mulch Film
<b>CFC</b>	Clorofluorcarbonetos
<b>UNFCC</b>	Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas
<b>GEE</b>	Gases com Efeito de Estufa
<b>IPMA</b>	Instituto Português do Mar e Atmosfera
<b>ISO</b>	International Standards Organization
<b>mm Hg</b>	Milímetros de Mercúrio
<b>OCDE</b>	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
<b>IPCC</b>	Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas
<b>PE</b>	Polietileno Convencional
<b>KPa</b>	Kilopascal
<b>WVP</b>	Water Vapour Permeability
<b>WVT</b>	Water Vapour Transfer
<b>WVC</b>	Water Volume Content

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento do tema

A água é um recurso natural que tem sido alvo de uma crescente utilização a nível mundial. A sua crescente procura e em alguns pontos do globo a sua escassez afiguram-se como um problema que urge resolver.

A água ocupa cerca de 71% da superfície do planeta, além do potencial hídrico subterrâneo que é 100 vezes superior ao potencial das águas superficiais. Do total da água, apenas 0,63% é água doce, e grande parte dela é imprópria para consumo. Poder-se-á dizer que 97,5% da água disponível na Terra é salgada e está localizada nos mares e oceanos, 2,49% é doce mas encontra-se nos glaciares ou aquíferos de difícil acesso (a profundidades superiores a 750 m) e apenas 0,007% é doce e localizada em rios e lagos, ou aquíferos de fácil acesso. (Oliveira, 2011)

O incremento da procura de água em vários sectores e com especial relevo no sector agrícola, face às limitações de utilização deste recurso evidenciam o quanto se torna importante fomentar a sua utilização cada vez mais eficiente. (Mañas, 2005)

A par com a problemática da água impera também a questão da preservação ambiental, nomeadamente no que respeita à utilização de plásticos convencionais com aplicações em agricultura. Desde cedo, se introduziu o uso de plásticos para cobertura do solo por forma a reduzir as perdas de água por evaporação, diminuindo assim as quantidades necessárias para a rega das culturas. Verificou-se que, apesar desta grande vantagem, a utilização de filmes plásticos trouxe inúmeros problemas. E é no seio desta ambiguidade que a ciência avançou no sentido de arranjar materiais que cumprissem a funcionalidade dos plásticos mas com diferente natureza química.

## 1.2. Objetivos

Neste trabalho pretendeu-se monitorizar e avaliar as necessidades de rega na cultura do pimento em ciclo curto de modo a permitir a realização de um estudo da gestão da dotação de rega quando são utilizados plásticos biodegradáveis. Pretende-se também verificar se existem diferenças quanto às necessidades hídricas da cultura coberta com filme biodegradável comparativamente ao convencional de polietileno.

Para esse efeito foi monitorizado um ciclo cultural de pimento (2013) onde foram determinadas as necessidades hídricas das plantas cobertas com um filme de cobertura biodegradável (*Agrobiofilm®*) e das plantas cobertas com polietileno convencional (PE). Foram determinados também parâmetros indicadores da produtividade e qualidade dos frutos e o impacto dos diferentes filmes de cobertura na humidade e temperatura do solo. Para o efeito referido, efetuaram-se ainda, testes de permeabilidade aos filmes de cobertura a nível laboratorial de acordo com as normas (ISO) estipuladas pela união europeia.

### 1.3. Estrutura da dissertação

No Capítulo 1 introduz-se o tema da Dissertação e explica-se a estrutura da mesma ao longo do trabalho.

No Capítulo 2 é efetuada uma breve revisão bibliográfica sobre a problemática da Água, sobre a utilização de filmes plásticos na agricultura referindo vantagens e inconvenientes e por fim, serão abordados os pontos principais da cultura utilizada nos ensaios.

No Capítulo 3 encontram-se todos os aspectos relativos aos Materiais e Métodos utilizados tanto na componente laboratorial como no ensaio de campo realizados no âmbito deste trabalho.

No Capítulo 4, Resultados e Discussão são apresentados em formato de artigo para submissão a revista científica. Explicam-se as metodologias utilizadas no ensaio, referem-se os principais resultados obtidos e a sua discussão.

No Capítulo 5 encontram-se as principais Conclusões resultantes deste trabalho e perspectivas para trabalhos futuros.

No final do documento, em anexo, são apresentadas algumas fotografias e vistas aéreas do local do ensaio uma vez que não foram incluídas no artigo.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Competição pela Água

#### **Considerações Gerais**

A preservação e o desenvolvimento das reservas de água continua a ser um dos principais problemas das populações em zonas áridas e semi-áridas, começando mesmo a preocupar os países onde a escassez de água não tem sido notória. Aproximadamente 75% da superfície do planeta é ocupada por água, para além dos recursos subterrâneos, os quais se estimam numa ordem de grandeza 100 vezes superior aos superficiais. Apenas 0,63% da totalidade de água no globo é doce, sendo grande parte imprópria para consumo humano. (Oliveira, 2011)

De notar que a população humana tem crescido ao longo dos tempos por várias razões e que se a taxa de crescimento anual se mantiver constante durante os próximos 100 anos chegaremos a um total de indivíduos que será provavelmente incompatível com os recursos naturais disponíveis, nomeadamente no que respeita à utilização de água. (Santos, 2007)

Segundo o Instituto Internacional de Pesquisa de Política Alimentar, 4,8 biliões de pessoas estarão em situação de stress hídrico em 2050. Além de problemas para o consumo humano, este cenário colocará em xeque a agricultura e a indústria uma vez que a água e o crescimento económico se acompanham. Esta escassez será mais acentuada em países pobres e em vias de desenvolvimento dada a sua maior suscetibilidade. (PlanetaSustentável, 2012)

Mesmo num país pequeno como Portugal, a água distribui-se no território de forma diferenciada entre o Norte chuvoso e húmido e o Sul mais seco e árido. Mas a irregularidade também se manifesta ao longo do tempo em cada ano e nos anos entre cada mês, podendo ocorrer períodos de precipitação intensa e outros marcados por períodos de seca. (Oliveira, 2011)

#### **Principais Consumos**

As previsões mundiais existentes para o século XXI sobre a utilização dos recursos naturais com especial ênfase nas questões da água destacam uma crise notória na disponibilidade da mesma em vastas zonas do planeta, por várias razões. Este ponto teve bastante relevo em vários estudos e documentos científicos. (Mañas, 2005)



Tabela 2.1 - Dinâmica dos Usos da Água (km<sup>3</sup>/ano) à escala mundial (de SHIKLOMANOV 2000 citado por Pereira s/d) in Oliveira, 2011

Sector	1900	1960	1995	2010	2025
População (milhões)	-	3029	5735	7113	7877
Área Regada (10 <sup>6</sup> ha)	47	142	253	288	329
Usos Agrícolas (km <sup>3</sup> /ano)	513	1481	2504	2817	3189
Usos Municipais (km <sup>3</sup> /ano)	22	118	344	472	607
Usos Industriais (km <sup>3</sup> /ano)	44	339	752	908	1170
Total (km <sup>3</sup> /ano)	579	1968	3788	4431	5235

### Princípio de Sustentabilidade no Consumo de Água

Como o mundo se torna cada vez mais dependente da produção de áreas irrigadas, a agricultura de regadio depara-se com sérios desafios que ameaçam a sua sustentabilidade. É prudente fazer um uso eficiente da água e, nesse sentido, aumentar a área para irrigação tendo sempre em conta os recursos hídricos disponíveis. (Yaghi *et al.*, 2013)

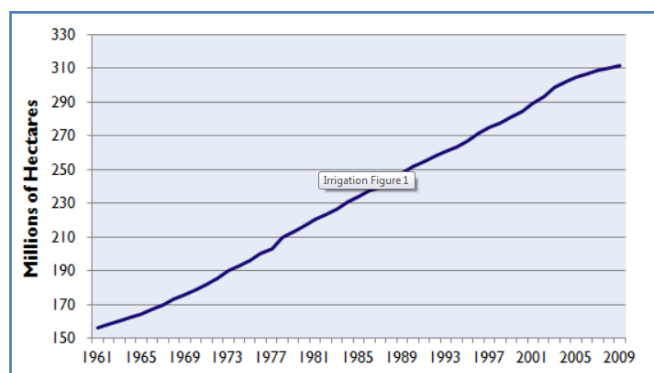


Figura 2.1 - Evolução da área regada a nível mundial, in [www.worldwatch.org](http://www.worldwatch.org)

Uma prática sustentável é toda aquela que garante a satisfação das necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias necessidades. (Santos, 2007)

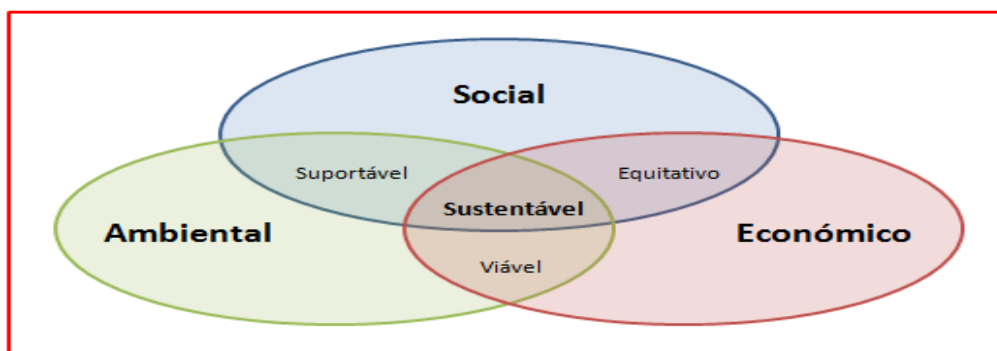


Figura 2.2 - Os três pilares da sustentabilidade (de ADAMS 2006) in Oliveira, 2011

O conceito de desenvolvimento sustentável integra as componentes sociais, económicas, institucionais e do ambiente a nível global embora envolva a sua concretização a nível regional e local. (Santos, 2007) O uso sustentável dos recursos hídricos está a tornar-se cada vez mais urgente em todo o globo! (Kang *et al.*, 2001)

Visando a sustentabilidade na agricultura de regadio, deve ser aumentada a eficiência de utilização da água e efetuar-se uma gestão adequada reduzindo consumos e racionalizando usos. Este objetivo passará pela melhoria e modernização dos regadios, quer atuando ao nível das infra-estruturas, quer ao englobar mudanças significativas nos sistemas de aplicação, gestão e exploração da água de rega numa ótica conservacionista em termos de água, solo, energia e ambiente. (Oliveira, 2011)

## 2.2. Água para Rega

Quando se principia a abordagem dos problemas relacionados com o desenvolvimento da agricultura de regadio há dois fatores principais que têm que ser tomados em conta – o clima e o solo. (Oliveira, 2011) A rega é uma prática usada em agricultura com a finalidade de suprir as necessidades em água das culturas tendo em conta a precipitação que ocorre numa dada região e a distribuição temporal da mesma. (Raposo, 1996)

A irrigação é um fator limitante para a produtividade das culturas pois está relacionada com vários fatores ambientais sobre os quais as plantas se desenvolvem e que influenciam o crescimento e desenvolvimento. A disponibilidade adequada de humidade nas fases críticas de crescimento das culturas otimiza os processos metabólicos das células vegetais e incrementa a eficácia da aplicação de nutrientes. (Yaghi *et al.*, 2013)

As necessidades de rega estão dependentes, por um lado, do clima de uma dada região, através dos fatores precipitação e poder evaporante da atmosfera e consequentemente da

sua influência no balanço hídrico das culturas e, por outro lado, das características físicas do solo em termos da sua capacidade de armazenamento. (Oliveira, 2011)

### **Importância da Gestão da Rega**

Na última década diminuíram os investimentos na irrigação e simultaneamente agravou-se a escassez de recursos hídricos em várias regiões. (Santos, 2005) Esta escassez de água associada a altas temperaturas torna imprescindível a rega, especialmente nos países do Sul da Europa. Nestas condições, a gestão da rega torna-se fundamental para otimizar o uso e rendimento da água de rega. (Oliveira, 2011) Esta crescente competição por recursos hídricos cada vez mais escassos motivou investigadores e entidades oficiais a avaliar de forma mais concreta a eficiência de uso da água na agricultura. (Wichelns, 2002)

De modo a otimizar o uso da água há que procurar soluções que conduzam ao aumento da produção por unidade de área cultivada, seja à custa da introdução de variedades mais produtivas, seja à custa de um aumento do rendimento por unidade de volume de água utilizado, seja ainda à custa de um aumento de eficiência da utilização da água ao nível do perímetro. (Oliveira, 2011)

A dotação de rega que se aplica a uma dada cultura não deve ser em défice, porque poderia prejudicar as culturas, nem em excesso, o que além de poder também afetar as plantas, daria origem a perdas de água por escoamento superficial ou por infiltração profunda e, consequentemente, à possível erosão do solo ou à lavagem e arrastamento dos respetivos nutrientes. Desta forma consegue-se, empregando menos água do que antigamente, obter maiores, e até melhores ou mesmo mais económicas, produções agrícolas. (Raposo, 1996)

De um modo geral, qualquer eficiência de utilização se deve medir em termos de entradas e saídas, sempre que seja possível precisar as respetivas quantidades. No caso da água para rega valoramos como entrada a quantidade de água posta à disposição das raízes e como saída a água efetivamente utilizada no crescimento da cultura. Este valor da eficiência de utilização da água de rega varia entre 0 e 1 considerando-se que num sistema de rega bem delineado este valor deverá ser superior a 0,8. (Mañas, 2005)

### **Sistemas de Rega**

O fornecimento de água ao solo pode fazer-se por diversos processos, os quais, como é lógico, devem ser empregados de acordo com a natureza das culturas e do terreno a beneficiar, o clima local e a mão-de-obra de que se dispõe para a realização das regas. Em rigor não existe nenhuma classificação dos sistemas de rega que seja perfeita, até porque há modalidades híbridas. Em baixo encontra-se a classificação portuguesa elaborada pelo

Professor Rui Mayer-Varenes e Mendonça, onde foram introduzidas as modalidades de rega localizada, gota-a-gota e miniaspersão. (Raposo, 1996)

**Tabela 2.2 - Classificação Portuguesa dos Sistemas de Rega; adaptado de Raposo, 1996**

<b>Métodos</b>	<b>Processos</b>	<b>Modalidade</b>
E scorrimento	Regadeiras de nível	Rega por gravidade
	Regadeiras inclinadas	
	Planos inclinados	
	Cavaletes	
	Faixas	
Submersão	Canteiros	Rega à pressão/gravidade
	Caldeiras	
Infiltração	Sulcos	Rega à pressão
	Rega subterrânea	
	Gota-a-gota	
	Mini-aspersão	
Rega por aspersão		

### **Perspetiva Económica**

A análise económica é útil para identificar as oportunidades e delinear políticas que encorajem os agricultores a melhorar as práticas de gestão da água por forma a obter benefícios líquidos sociais. (Wichelns, 2002)

A Lei-Quadro da Água vem impor maiores restrições à utilização deste recurso bem como o seu pagamento. Este facto juntamente com o aumento das necessidades hídricas por parte das culturas em consequência da subida da temperatura conduz à necessidade de uma maior regularização dos volumes disponíveis e a um aumento da respetiva eficiência de utilização. (Oliveira, 2011)

As políticas que associaram um preço à água e os apoios financeiros dados aos agricultores para investimento em nova tecnologia de sistemas de irrigação desencadearam melhorias

na gestão da água e reduziram o volume drenado enquanto a produtividade das culturas se manteve/incrementou. (Wichelns, 2002)

### **Alterações Climáticas e Rega**

A grande maioria das atividades humanas são afetadas, direta ou indiretamente, positiva ou negativamente, pelas alterações climáticas. (Pereira *et al.*, 2010) O tema das alterações climáticas é atualmente bastante pronunciado quando se fala de agricultura em geral e de regadio. Por um lado, porque a atividade agrícola, como qualquer atividade económica, tem contribuído ao longo do tempo para a emissão de gases com efeito de estufa (GEE). Por outro, porque sendo uma atividade cujos processos tecnológicos, e respetivos “outputs”, estão muito dependentes das variáveis climáticas, ela própria sofrerá a interferência das alterações que se vierem a verificar, e terá que se adaptar a essa nova envolvência. Importa ainda referir que a agricultura é uma atividade que poderá contribuir, de diversas formas, e nomeadamente através do sequestro do CO<sub>2</sub>, para mitigar os efeitos que as elevadas concentrações de GEE têm nas alterações climáticas que se projetam. (Oliveira, 2011) Um dos principais impactes das alterações climáticas é ao nível dos recursos hídricos. (Santos, 2005)

Este impacte poderá ser significativo na agricultura em geral, sendo a rega um ponto decisivo na minoração destes mesmos impactes na agricultura de regadio. (Oliveira, 2011) A agricultura está, por isso, entre as atividades mais afetadas pelas alterações climáticas, sendo importante prever os impactes futuros segundo os cenários de emissões que se projetam atualmente. (Pereira *et al.*, 2010)

Segundo a definição do painel intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC), as alterações climáticas são alterações significativas no estado do clima, identificadas por variações de médias e/ou medidas de dispersão de variáveis climáticas, e que persistem por longos períodos, tipicamente décadas ou períodos ainda mais longos. (Pereira *et al.*, 2010)

A origem destas variações é natural ou antrópica. Apresentando-se esta definição diferente da que é sugerida pela Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (UNFCCC) que considera, apenas, alterações climáticas que resultam direta ou indiretamente da atividade humana, por via das alterações na composição da atmosfera, constituindo adições à variabilidade climática natural. (Pereira *et al.*, 2010)

### **Principais Impactes na Atividade Agrícola**

Nas ações antrópicas salientam-se as emissões de gases que têm efeito de estufa (GEE), nomeadamente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), e os

clorofluorcarbonetos (CFC) que produzem um aumento da energia absorvida pela atmosfera, designado forçamento radiativo positivo. (Pereira *et al.*, 2010)

Tendo em conta estas previsões, e sabendo que, nos últimos 150 anos se assistiu a uma subida da temperatura à média 0,6º/ano, explicada pela subida do efeito de estufa, alguns estudos apontam para que, por volta do ano 2100 a temperatura média global possa ser superior a 1,4ºC a 5,8ºC à atual e que a precipitação média possa subir 1,3% a 6,8% (IPCC). (Oliveira, 2011)

De acordo com Pereira *et al.* (2010), as alterações climáticas têm impactos positivos e negativos na maioria das atividades humanas. A agricultura sofrerá impactos múltiplos em todos os cenários. As principais alterações far-se-ão sentir em vários aspetos principais:

1. Datas de ocorrência dos estados fenológicos
2. Crescimento e produção das culturas
3. Uso da água e necessidades hídricas das culturas
4. Necessidades de rega
5. Competição de infestantes e eficiência de herbicidas
6. Taxa de erosão do solo
7. Incidência de pragas e doenças e eficiência de pesticidas
8. Condições económicas, financeiras e sociais dos agricultores

### **Adaptação e Mitigação**

A agricultura requer medidas de adaptação e avanços tecnológicos por forma a diminuir a sua contribuição para a emissão de GEE. A adaptação essencial será por parte da sociedade e na forma como vai agir sobre a agricultura, proporcionando meios e medidas de adaptação. (Pereira *et al.*, 2010)

Os objetivos traçados no sector agrícola relativos à estratégia nacional para as alterações climáticas prendem-se com o reforço da segurança da disponibilidade de água, a gestão da sua procura e o aprofundamento do conhecimento. Também em termos europeus (Livro Branco sobre as Alterações Climáticas, CEC2009), e em relação à agricultura das regiões do sul da Europa, aponta-se a falta de água e o risco de desertificação como questão prioritária. (Oliveira, 2011)

## 2.3. A utilização de plástico no mundo

### Considerações Gerais

A Humanidade sempre trabalhou no sentido de encontrar materiais que pudessem oferecer benefícios não disponíveis no seio dos produtos naturais. O desenvolvimento dos materiais plásticos iniciou-se com o uso de materiais naturais que apresentavam propriedades plásticas, tais como pastilha elástica e goma-laca. Com o desenvolvimento da química, apareceram os materiais naturais modificados (borracha, nitrocelulose, colagénio) e há cerca de 100 anos desenvolveram-se os plásticos que hoje conhecemos. Em crescimento contínuo a produção global de plásticos em 2012 alcança 288 milhões de toneladas, o que representa um acréscimo de 2,8% relativamente a 2011. (PlasticsEurope, 2013)

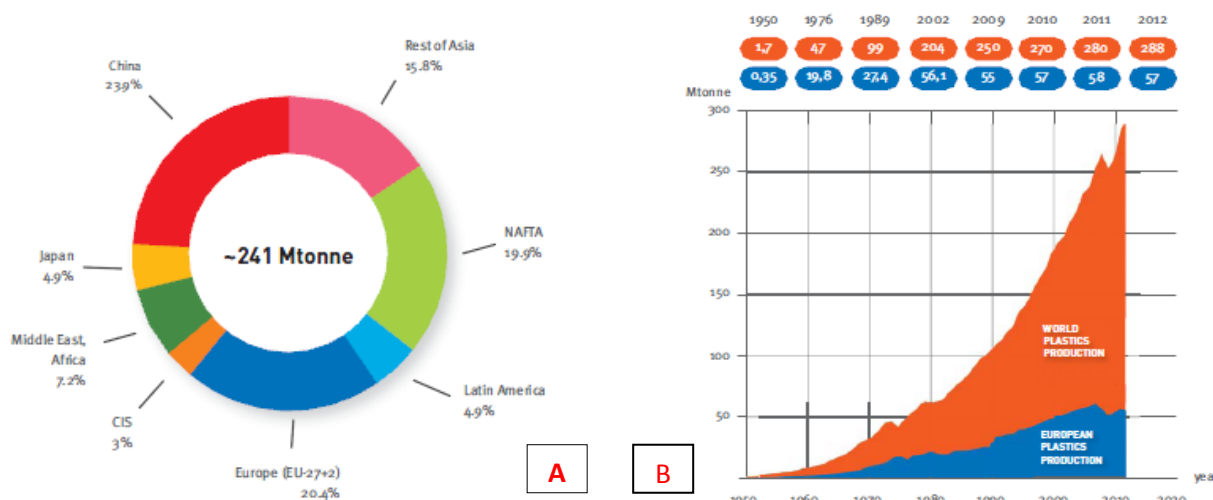


Figura 2.3 - A: Produção de plásticos por regiões em 2012 e B: Produção global de plásticos; in PlasticsEurope, 2013

### A Plasticultura na Atividade Agrícola

Atualmente o consumo de plásticos no setor agrícola encontra-se em grande crescimento, uma vez que se estendeu aos países em vias de desenvolvimento, em particular a zonas onde a área agrícola cultivável é escassa. Na agricultura os plásticos são principalmente usados para cobertura de estufas, cobertura do solo e proteção de silagem. O uso de filmes plásticos para cobertura do solo em

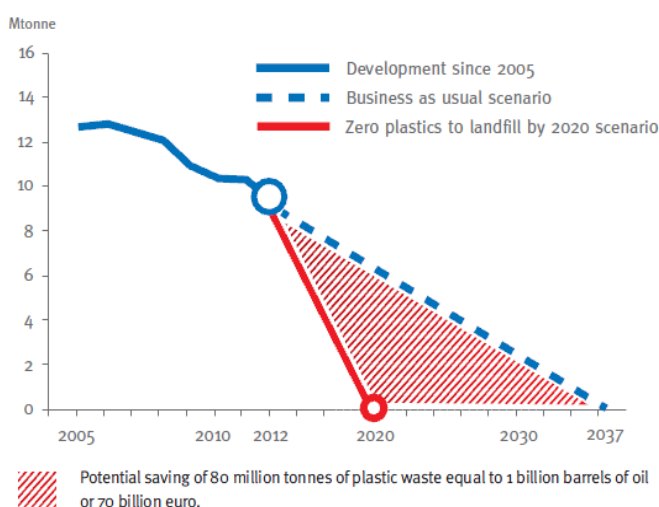


Figura 2.4 - Perspectiva para 2020, um cenário desafiador mas realista; in PlasticsEurope, 2013

produção hortícola é prática comum e amplamente reconhecida pela grande variedade de vantagens que acarreta. Este tema será abordado mais à frente. A esta expansão mundial do uso de plásticos na agricultura surge associado o problema da gestão de resíduos. Grande parte dos resíduos plásticos fica acumulada junto aos terrenos de cultivo, sendo queimados, reciclados ou depositados em aterros. (Briassoulis, 2006; Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2006; Moreno and Moreno, 2008)

Todos sabemos que estas práticas prejudicam o ambiente no entanto, o plástico muitas vezes encontra-se sujo e tem de ser limpo para que se possa encaminhar para um destino final adequado. Estes procedimentos trazem custos adicionais e na maioria das vezes acabam por não se concretizar. (Plastics Europe, 2013)

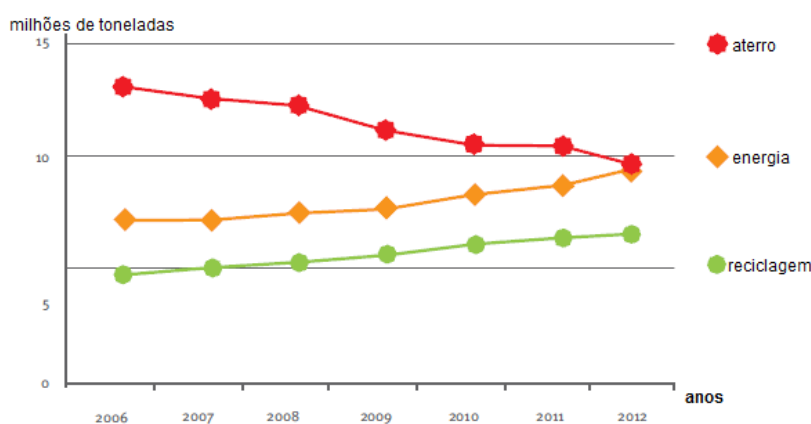


Figura 2.5 - Total de plásticos reciclados e recolhidos entre 2006 e 2012; *in* PlasticsEurope, 2013

A baixa degradabilidade dos plásticos convencionais, a selagem de vários aterros em fim de vida, bem como problemas de poluição dos solos e aquíferos, conduziram a um aumento das preocupações relativas à utilização massiva dos plásticos no setor agrícola. Aliado ao excessivo uso dos plásticos, a capacidade disponível para os seus resíduos serem depositados tornou-se também uma preocupação. Assim, a utilização de plásticos biodegradáveis na cobertura do solo afigura-se de extrema importância, do ponto de vista económico e ambiental. No final de cada ciclo cultural estes tipos de plásticos podem ser incorporados no solo, juntamente com os restos de material vegetal. (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2006)

## 2.4. A Utilização de Filmes para cobertura de solo na Agricultura

O uso de materiais plásticos para cobertura do solo é prática comum numa ampla variedade de culturas vegetais. (Moreno and Moreno, 2008) Historicamente, sabe-se que os produtores hortícolas aplicam filmes plásticos para cobertura de modo a reduzir o controlo de infestantes e a erosão do solo pela água e vento, reduzindo também a lixiviação de



fertilizantes, especialmente em solos finos e arenosos e, evitando a propagação de doenças nas culturas provenientes do próprio solo. (Green *et al.*, 2003; Scarascia –Mugnozza *et al.*, 2006; Moreno and Moreno, 2008) Seguidamente são apresentados, de forma sumária, os principais tipos de plásticos de cobertura:

### **Tipos de plásticos de cobertura do solo**

#### **Convencionais - coloridos**

Os filmes plásticos agrícolas usados hoje em dia são constituídos por polietileno de baixa densidade (em alguns casos HDLE, LLDPE), poli(cloreto de vinilo), polibutileno, ou copolímeros de etileno com acetato de vinilo. (Briassoulis, 2006) A maioria dos resíduos plásticos agrícolas na Europa consiste em filmes de LDPE (polietileno de baixa densidade) e em alguns casos filmes de LLDPE (polietileno de baixa densidade linear) para utilização em culturas protegidas, películas ou aplicações em silagem, com uma espessura entre 20 a 250 micrómetros. Estes produtos podem conter uma quantidade significativa de aditivos sendo que em alguns casos o conteúdo pode ser superior a 15%. (Briassoulis *et al.*, 2013)

#### **Considerações Gerais sobre as cores utilizadas em filmes de cobertura**

Nos últimos anos vários filmes de cobertura coloridos têm sido utilizados para incrementar a produtividade e a qualidade da produção. Ajudam a criar microambientes alterados em redor das plantas, consoante as cores dos filmes de cobertura e as condições climáticas do local, o que poderá ser benéfico para o crescimento e produtividade. (Moreno and Moreno, 2008)

A influência das cores dos filmes de cobertura no crescimento e produtividade das culturas é altamente específica, variando com o grupo taxonómico das plantas em causa, e com as condições climáticas e sazonais. (Decoteau *et al.*, 1988; Mahmoudpour and Sampleton, 1997; Moreno and Moreno, 2008)

É vantajoso efetuar a cobertura do solo com filme de polietileno negro, para combater as infestantes e aumentar a eficiência do uso da água. A cobertura do solo permite aumentar a densidade de plantação, a precocidade e a produtividade da cultura do pimento. (Almeida, 2006)

**Filme de cobertura Preto** – O plástico de polietileno convencional preto é o mais amplamente utilizado pelas suas propriedades e pelo baixo custo. O uso de cores escuras nos filmes de cobertura incrementa a temperatura. (Moreno and Moreno, 2008)



Figura 2.6 - Filme de polietileno convencional preto, atualmente o mais usado na cultura do pimento, *in*  
[www.agrobiofilm.eu](http://www.agrobiofilm.eu)

Seguidamente são apresentados, de forma sumária, alguns tópicos sobre as restantes cores utilizadas nos filmes de cobertura:

**Transparente** - Os filmes de cobertura transparentes permitem a passagem da radiação solar. (Bilck *et al.*, 2010)

**Branco** - O uso de cores claras nos filmes de cobertura aumenta a reflexão da radiação solar o que implica menor variação na temperatura do solo e aumento da irradiância em volta da canópia da cultura. (Moreno and Moreno, 2008)

No entanto, em geral a utilização de filmes plásticos de cobertura aumentam a temperatura do solo em comparação com solo nu. Este aumento é mais intenso em cores escuras e limpas do que em filmes com cores mais refletoras como o branco, o prateado ou mesmo o alumínio. (Rangarajan and Ingall, 2001; Moreno and Moreno, 2008)

De acordo com Díaz-Pérez (2009), em geral os plásticos de cobertura de coloração escura tais como preto, azul, vermelho e cinzento acumula mais graus-dia no solo que os plásticos claros tais como branco ou prateado.

**Refletor e prateado de alta reflexão** – Os filmes de cobertura opacos previnem a passagem da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), inibindo assim o crescimento de infestantes. (Bilck *et al.*, 2010) Plásticos refletores reduzem os ataques de afídeos e a incidência de viroses. (Almeida, 2006)



Figura 2.7 - Aspeto visual do filme de cobertura de alta reflexão

**Amarelo e Vermelho** - Algumas cores usadas nos filmes de cobertura podem ocasionar diferenças na quantidade e qualidade dos comprimentos de onda refletidos, o que pode influenciar o crescimento e as características de produtividade das plantas, bem como a presença de pragas e populações patogénicas. (Moreno and Moreno, 2008)

### **Degradáveis – oxodegradáveis e biodegradáveis**

A questão da fragmentação/degradação versus biodegradação tem-se tornado numa das mais acesas discussões relacionadas com o tema dos plásticos biodegradáveis. Os plásticos oxo-biodegradáveis contêm sais de metais que atuam como catalisadores da degradação, resultando do processo fragmentos e posteriormente microfragmentos de plásticos e metal que vão permanecer no ambiente não obstante ser reconhecidos visualmente como contaminantes. O processo de degradação é reduzido de centenas de anos apenas para anos ou alguns meses e, após isso, supõe-se que o processo de biodegradação resulte numa total remoção do plástico do meio ambiente mineralizando-se na totalidade em  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ . (Philp *et al.*, 2012)

Deste modo, entende-se por biodegradação um processo de degradação que é iniciado ou propagado por microrganismos tais como bactérias e fungos. Para que um polímero possa ser considerado biodegradável, é importante que as suas fracções possam ser assimiladas por microrganismos e completamente mineralizadas em dióxido de carbono, água e biomassa. (Ammala *et al.*, 2011)

Os compostos metálicos mais usados nos plásticos comerciais oxo-biodegradáveis são: manganês (Mn), ferro (Fe), cobalto (Co) e níquel (Ni), que são obviamente não degradáveis pelo processo. No entanto sabe-se que este tipo de plásticos não são biodegradáveis sendo que não é prática recomendável deixá-los no solo (Philp *et al.*, 2012) Os polímeros biodegradáveis e alguns polímeros recalcitrantes, tais como as poliolefinas estão sujeitos a biodegradação sendo que as enzimas microbianas desempenham um papel fundamental

durante o processo. Para efetuar a cisão, os microrganismos segregam enzimas específicas ou produzem radicais livres que vão atuar nas cadeias de polímeros quebrando-as em oligómeros, dímeros ou mesmo monómeros. (Ammala *et al.*, 2011) De acordo com os mesmos autores, as enzimas atrás referidas são macromoléculas biológicas que catalisam reações químicas. As enzimas são bastante seletivas em relação aos substratos onde actuam. Estão vinculadas a substratos específicos, diminuindo assim a energia de ativação e consequentemente induzindo um incremento nas taxas de reação num ambiente que, caso contrário, seria desfavorável às mesmas reações químicas. Algumas destas enzimas não necessitam de um componente adicional para realizarem uma actividade ótima, sendo que outras necessitam de moléculas não proteicas denominadas co-fatores para se vincularem à atividade de catalização das reações. Co-fatores inorgânicos incluem iões metálicos como sódio, potássio, magnésio ou cálcio e co-fatores orgânicos, também designados por coenzimas, incluem diferentes B-vitaminas (tiamina, biotina, etc.) e compostos metabólicos ( $NAD^+$ ,  $NADP^+$ ,  $FAD^+$ ,  $ATP^+$ ). (Ammala *et al.*, 2011)

## Bioplásticos

O termo bioplástico significa que determinado plástico é produzido a partir de uma fonte biológica (ciclo curto de carbono) enquanto o termo biodegradável se refere a qualquer material que possa ser degradado relativamente rápido por micróbios num ambiente bio-ativo e sob condições favoráveis. Tanto os bioplásticos como os plásticos elaborados à base de petróleo são teoricamente biodegradáveis, no entanto o que se verifica é que a maior parte dos materiais se degradam em taxas tão lentas que acabam por ser considerados como não-biodegradáveis ou resistentes. (Soroudi and Jakubowicz, 2013)

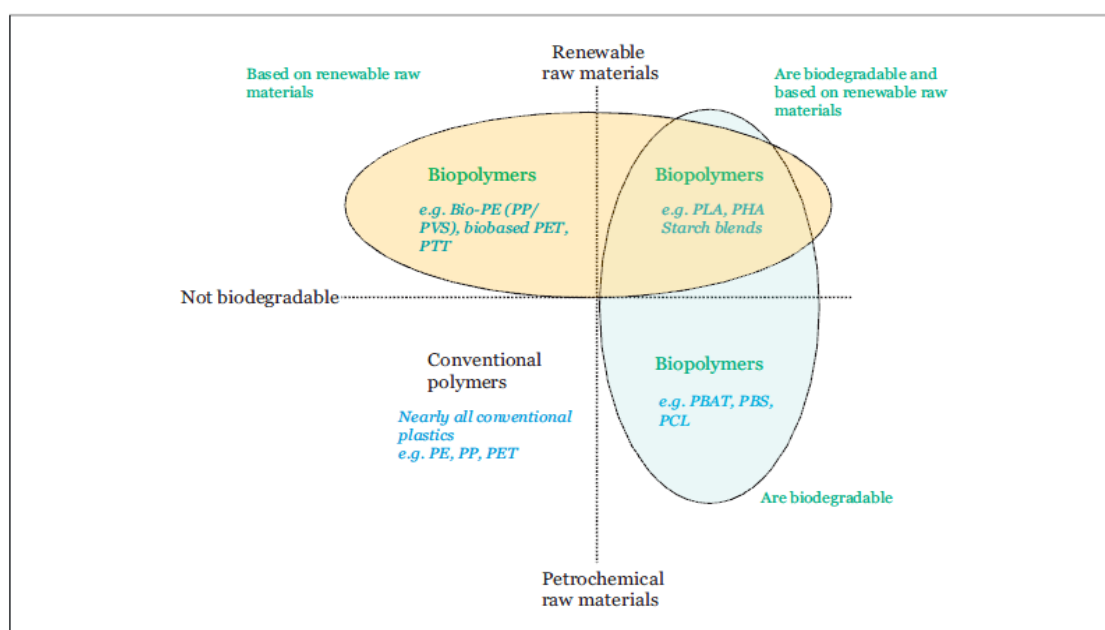


Figura 2.8 - Tipos de bioplásticos, biodegradáveis e não-biodegradáveis in Philp *et al.*, 2012

Os produtos eco e bio-baseados sustentáveis são produtos com aceitação ambiental e comercial que provêm de fontes renováveis e apresentam capacidades de reciclagem e/ou biodegradabilidade desencadeada. Em resultado de uma nova legislação para desenvolvimento de um modo de produção económico e ambientalmente viável bem como para reutilização e reciclagem de materiais, o mercado dos biopolímeros e biocompósitos está a crescer rapidamente. (Soroudi and Jakubowicz, 2013)

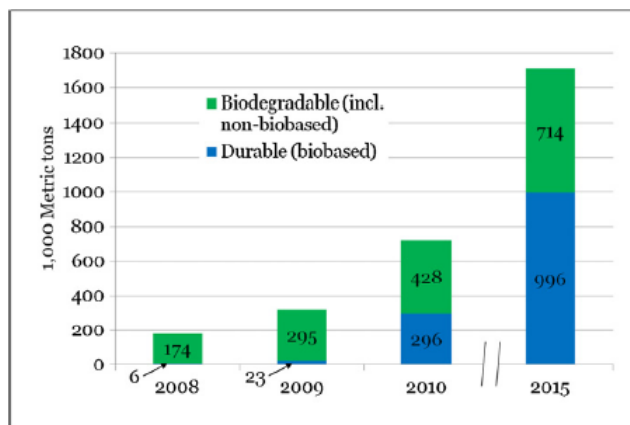


Figura 2.9 - Capacidade de produção global de bioplásticos in Philp *et al.*, 2012

De acordo com European Bioplastics, a capacidade de aumento de produção deste tipo de materiais será de 700 000 toneladas em 2010 para 1,7 Mil toneladas em 2015. Mais importante, contudo, será o aumento de preços do crude e do gás natural, que permitirá aos bioplásticos tornarem o seu custo mais competitivo. (Soroudi and Jakubowicz, 2013)

### Vantagens dos Plásticos de Cobertura

Seguidamente são apresentadas, de forma sumária, as principais vantagens dos plásticos de cobertura:

#### Aumento da Temperatura do Solo

Sabe-se que os filmes de cobertura incrementam a temperatura uma vez que a energia proveniente do Sol atravessa o plástico aquecendo directamente a água e o solo que estão por baixo, permanecendo assim este calor devido ao efeito de estufa. (Hu *et al.*, 1995; Ramakrishna *et al.*, 2006) Os filmes plásticos de cobertura alteram o microclima das culturas alterando o balanço de energia no solo (Liakatas *et al.*, 1986; Tarara, 2000). A alteração no microclima das culturas resulta em alterações na temperatura do solo que afetam o crescimento e a produtividade das culturas (Cooper, 1973; Díaz-Pérez and Batal, 2002; Ibarra-Jimenez *et al.*, 2006; Lamont, 2005). A maioria dos resultados obtidos com filmes plásticos de cobertura evidencia o aumento de temperatura na zona radicular, facto considerado um dos principais benefícios associado a esta prática cultural. (Díaz-Pérez,

2009) A temperatura é um fator-chave no crescimento das plantas e no seu metabolismo uma vez que afeta a taxa a que ocorrem os processos bioquímicos. A temperatura na zona radicular influencia processos fisiológicos tais como a captação de nutrientes minerais e água (Cooper, 1973; Dodd *et al.*, 2000; Tindall *et al.*, 1990). Sabe-se hoje que a temperatura na zona radicular acelera o crescimento das plantas, as trocas gasosas e a atividade de várias enzimas. (Cooper, 1973; Dodd *et al.*, 2000; Ibarra-Jimenez *et al.*, 2008; Subrahmaniyan and Zhou, 2008)

### **Redução da Evaporação da Água do Solo**

O aumento da procura de água para irrigação e os sinais crescentes de escassez deste recurso implicam satisfazer a necessidade urgente de obter maiores rendimentos culturais por unidade de água consumida. (Yaghi *et al.*, 2013) Este facto pode ser alcançado introduzindo nas culturas métodos avançados de irrigação e práticas de gestão da água de rega. Uma destas práticas para aumento da eficiência de uso de água é a aplicação de plásticos de cobertura ao solo. (Yaghi *et al.*, 2013) Os filmes de cobertura previnem a evaporação da água do solo e retêm a humidade nele contida. (Ramakrishna *et al.*, 2006) Os filmes de cobertura retardam de maneira efetiva a perda de humidade do solo. Como resultado, o solo mantém-se com um teor de água mais elevado e uniforme reduzindo a frequência de irrigação. (Ramakrishna *et al.*, 2006)

### **Redução do Problema das Infestantes**

Os filmes de cobertura previnem a penetração da luz solar impedindo a passagem de determinados comprimentos de onda necessários à germinação de sementes e ao crescimento de plântulas de infestantes. (Ossom *et al.*, 2001; Ramakrishna *et al.*, 2006) De notar que, por vezes, desenvolvem-se infestantes nos furos efetuados pela maquinaria agrícola para colocação das plântulas e nos vários rasgos que o filme de cobertura vai abrindo ao longo do ciclo cultural. As infestantes devem ser retiradas manualmente durante o ciclo de produção dada a sua rápida proliferação.

### **Redução da Lixiviação de Nutrientes**

A poluição dos recursos hídricos pelas atividades agrícolas tornou-se um grave problema a nível global. Os corpos de água podem ser atingidos pelo afluxo de nutrientes que escorre superficialmente nos campos de cultura. Este acontecimento torna-se particularmente relevante em produções com elevado aporte e consequente escorrência de nutrientes. (Zhang *et al.*, 2013) De acordo com a experiência realizada por Romic *et al.* em 2003,

conclui-se que a cobertura do solo com filmes plásticos reduz as quantidades de água percoladas. Ainda assim, as concentrações de nitratos e as quantidades de azoto lixiviadas nos tratamentos das culturas com filmes plásticos vão depender da distribuição da precipitação, das fases de crescimento das plantas e das próprias características dos filmes. Existe uma preocupação crescente relativamente à contaminação da água do subsolo por nitratos em regiões de agricultura intensiva. Culturas intensivas tais como vegetais e outras hortícolas que geralmente necessitam de quantidades elevadas de adubo azotado apresentam maior potencial para contaminação das respetivas zonas com nitratos. (Hochmut, 1992). É necessário conhecer bem as condições agro-ecológicas dos locais em causa por forma a administrar uma correta fertilização azotada em harmonia com o meio ambiente. (Romic *et al.*, 2003)

### **Redução da Compactação do Solo**

Os filmes plásticos de cobertura são normalmente aplicados em faixas com aproximadamente 0,9 m de largura sobre os camalhões e, entre estes, as bordas são cobertas por solo. Quando se faz este tipo de cobertura, 50 – 70% do campo encontra-se coberto por uma superfície impermeável. (Zhang *et al.*, 2013) De acordo com os mesmos autores, os solos onde foi aplicado filme plástico de cobertura apresentam maior estabilidade dos macroagregados e do conteúdo em água, evidenciando também maior volume de macroporos comparativamente a outros onde as culturas foram instaladas em solo nu, nos quais será mais provável que a longo prazo esteja comprometida a sustentabilidade.

### **Produção de Produtos Hortícolas Limpos**

A aplicação de filmes de cobertura biodegradáveis ou convencionais não afeta a qualidade da produção nem atributos dos frutos. Em muitas culturas, o facto de a parte aérea da planta não estar em contacto direto com o solo ou relativamente próximo deste sem qualquer proteção melhora a apresentação das hortícolas e os próprios mecanismos de limpeza e lavagem.

### **Promove o Crescimento e a Precocidade de Culturas**

Os filmes de cobertura promovem o crescimento antecipado das culturas e incrementam a produção. (Ramakrishna *et al.*, 2006)

## **Potencia o Tratamento do Solo por Fumigação**

Os filmes plásticos de cobertura controlam de modo mais eficaz o crescimento de infestantes uma vez que retêm de forma mais prolongada e efetiva os fumigantes fitotóxicos. (Thomas *et al.*, 2009)

## **Potencia o Controlo de Pragas e Doenças nas Culturas**

Os filmes plásticos de cobertura controlam o crescimento de infestantes pois apresentam uma espessura que previne a penetração de sementes de infestantes, especialmente ciperáceas. (Thomas *et al.*, 2009)

## **Desvantagens dos Plásticos de Cobertura**

Seguidamente são apresentadas, de forma sumária, as principais desvantagens dos plásticos convencionais de cobertura:

### **Aumento dos Custos Iniciais e Operacionais**

As razões que conduzem a práticas perigosas do ponto de vista ambiental são a falta sistemática de técnicas rentáveis postas à disposição dos produtores e de custos de trabalho apropriados a uma recolha adequada dos filmes plásticos após o fim do ciclo cultural. (Briassoulis, 2006) A necessidade de lavrar o solo por razões de natureza agronómica, impõe que o uso de filmes plásticos de cobertura seja usado apenas por um ou dois ciclos culturais, sendo posteriormente descartado. (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2006)

### **Dificuldade na Recolha de todos os Resíduos**

Uma grande parte dos resíduos plásticos de cobertura do solo são deixados no campo ou queimados sem qualquer tipo de controlo pelos agricultores, libertando substâncias nocivas que contribuem para elevados impactes negativos no meio ambiente. (Briassoulis, 2006) A poluição estética e a degradação da paisagem de regiões de natural beleza é outra conhecida consequência desta prática nas zonas mediterrânicas da Europa. Mais ainda, o enterro propositado deste tipo de materiais nas parcelas agrícolas é outra prática infelizmente seguida por muitos agricultores europeus, representando uma ameaça iminente de contaminação irreversível dos solos e, possivelmente, na segurança e autonomia de produção de bens alimentares nesses mesmos campos. (Briassoulis, 2006) A recolha destes resíduos por parte dos agricultores implica um enorme consumo de combustível e a reciclagem apresenta-se dispendiosa do ponto de vista económico e de tempo face ao



elevado custo da operação de recolha, também agravada pelo contacto direto do solo com os designados filmes de cobertura. (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2006)

### **Destino a dar aos Resíduos Plásticos**

Os produtos feitos à base de plástico têm aumentado a produção significativamente nas últimas décadas, em parte devido ao seu baixo custo, boas propriedades mecânicas, baixo peso e elevada durabilidade. Estas propriedades aliadas ao aumento da respetiva produção e utilização trouxeram um crescente problema de eliminação deste tipo de produtos no final do seu ciclo de vida útil. Os tradicionais métodos de eliminação incluem: Reciclagem, incineração e deposição em aterro. (Ammala *et al.*, 2011)

É amplamente reconhecido que o processo de reciclagem de plástico contribui fortemente para a gestão sustentada dos resíduos aliviando pressões no ambiente e sociedade. Existe uma vasta gama de justificações ambientais a favor da reciclagem. Os processos de reciclagem reduzem a procura de energia e recursos finitos. A poluição da água e as emissões gasosas são geralmente inferiores e os problemas relacionados com os resíduos sólidos mitigados. (Duraiappah, 2002; Briassoulis *et al.*, 2013)

Mais ainda, a reciclagem pode ser uma mais-valia económica para países em desenvolvimento. Primeiro, pela elevada intensidade de trabalho no processo de recuperação que gera emprego ao nível do setor informal. Segundo, porque reciclar pode ajudar a reduzir a dependência de recursos externos e assim reduzir custos de importação. (Duraiappah, 2002; Briassoulis *et al.*, 2013) Todavia, mais esforços devem ser feitos no sentido de alcançar as exigências na gestão dos resíduos que a nossa sociedade necessita em termos de desenvolvimento sustentável. Ainda existem algumas dificuldades que a indústria de reciclagem de plástico deve superar relativamente a inconveniências tecnológicas e à procura de mercados finais para materiais reciclados. (Delgado and Stenmark, 2006; Briassoulis *et al.*, 2013)

Foram desenvolvidas especificações técnicas pelo Projeto LabelAgriWaste (2006 – 2009) apropriadas ao processo de reciclagem de resíduos plásticos agrícolas, amplamente aceites pela indústria da reciclagem. As especificações estabelecem critérios de qualidade a satisfazer pelos produtores de plásticos agrícolas, utilizadores e pela própria cadeia de gestão destes resíduos. Estas especificações constituem a base para uma valorização económica e ambiental dos resíduos plásticos agrícolas. (Briassoulis *et al.*, 2013)



Figura 2.10 - Pilhas de resíduos plásticos agrícolas heterogêneos e sujos entregues numa indústria de reciclagem; in LabelAgriWaste Project, 2006 – 2009

As especificações propostas estão direcionadas aos resíduos plásticos agrícolas elaborados a partir de polietileno, uma vez que representam a grande maioria dos plásticos atualmente usados neste setor. A adoção destas especificações poderá transformar este fluxo de resíduos em mercadoria rotulada comercializada livremente no mercado constituindo a base para a melhor valorização económica e ambiental dos resíduos plásticos agrícolas. (Briassoulis *et al.*, 2013) A natureza complexa deste fluxo de resíduos plásticos em termos de composição dos polímeros e da presença de impurezas requer uma limpeza extensiva e tratamentos de pré-separação antes do reprocessamento. (Briassoulis *et al.*, 2013)

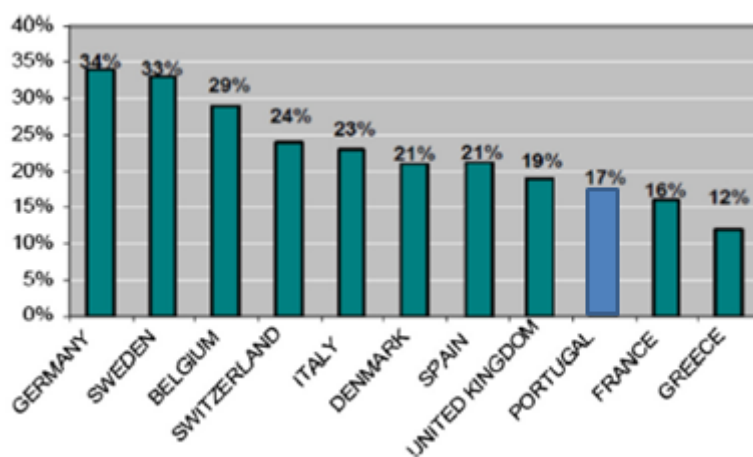


Figura 2.11 - Percentagem de Plástico reciclado na Europa in Cicloplast, 2011

Os países que têm sistemas de reciclagem em vigor para resíduos plásticos agrícolas apresentam uma taxa de reciclagem significativamente mais elevada do que aqueles que não têm. (European Plastics Converters, 2010; Briassoulis *et al.*, 2013) Portugal terá de aumentar a taxa de reciclagem de plásticos uma vez que de acordo com os objetivos europeus estipulados para o efeito esta taxa não poderá ser inferior a 15%. Dados recentes indicam que pelo menos 13 empresas portuguesas reciclam plásticos provenientes de

outras indústrias e até de uso doméstico, sendo este processo maioritariamente mecânico. (AePortugal, 2014)

## **Impacte Ambiental**

A produção de plásticos a nível mundial superou todas as expectativas e continua a crescer. Hoje em dia produz-se vinte vezes mais plástico que há cinquenta anos atrás. A título de exemplo, em 2010 nos Estados Unidos, apenas 12,4% do total de plástico produzido foi recuperado. Esta situação materializa um problema global. (Philp *et al.*, 2012) Mais de 99% do plástico produzido tem origem em combustível fóssil e o seu rápido incremento em termos de produção vai provocar uma pressão crescente em recursos não renováveis e bastante limitados do planeta. (Ren, 2003) Depois dos resíduos alimentares e dos resíduos de papel, os resíduos plásticos aparecem na lista como o terceiro principal constituinte do lixo municipal e industrial em muitas cidades. (Philp *et al.*, 2012)

O problema da utilização de filmes plásticos na agricultura prende-se com o facto de o polietileno possuir um elevado peso molecular e propriedades hidrofóbicas. Estas características conferem grande estabilidade química, sendo necessários aproximadamente 100 anos para uma completa decomposição. (Bilck *et al.*, 2010) Existe um maior grau de consciencialização em torno do problema de acumulação de grandes quantidades de resíduos plásticos em certas zonas dos oceanos, por exemplo no Atlântico Norte e no Nordeste do Pacífico. (Philp *et al.*, 2012) Relativamente aos resíduos plásticos agrícolas, até 2012, não existia legislação europeia comunitária para a respetiva recolha separada de pesticidas, fertilizantes ou embalagens de sementes. Ainda assim, alcançaram uma taxa de recolha de mais 60% em alguns países europeus. No entanto a taxa de recolha global de plásticos agrícolas é de apenas 49,5% e, apesar de mais de 35 companhias de reciclagem terem capacidade para processar estes resíduos, a taxa de reciclagem situa-se nos 23% (2010 data) (European Plastics Converters, 2010; Briassoulis *et al.*, 2013)

## **2.5. Filmes de Cobertura Biodegradáveis**

### **Filmes de Cobertura Biodegradáveis e suas Propriedades**

Uma revisão breve na literatura a propósito do comportamento mecânico de vários tipos de materiais biodegradáveis revela que, em geral, as suas propriedades mecânicas dependem da composição química, dos parâmetros de processamento, condições de armazenamento e de aplicação e comportamento na degradação. (Briassoulis, 2006) De acordo com o mesmo autor, a utilização eficiente e rentável de filmes biodegradáveis que devem, por um

lado, atingir altas performances durante a sua vida útil e, por outro, reduzir a poluição praticando uma agricultura sustentável e amiga do ambiente, implica a resposta a várias questões tecnológicas cruciais. Em particular, estes filmes biodegradáveis devem atingir os requerimentos mínimos em termos de fabrico, nomeadamente, resistência adequada à quebra durante a sua instalação mecânica; boas propriedades mecânicas no que concerne à sua durabilidade no tempo de utilização e 100% de degradação no solo de preferência antes do ciclo cultural seguinte. (Briassoulis, 2006) Os produtos resultantes das reações de biodegradação destes filmes de cobertura não devem ser tóxicos ou permanecer no solo após a cultura, apresentando-se totalmente mineralizados em dióxido de carbono ou metano, água e biomassa através dos microrganismos do solo num prazo razoável para o efeito. Por outro lado, estes materiais devem ser úteis e funcionais durante o período de utilização. Pretende-se que mantenham propriedades físicas e mecânicas adequadas sempre que sejam expostos a agentes climáticos e pesticidas durante o ciclo cultural. (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2006)



Figura 2.12 - Esquema da biodegradabilidade total de Mater-Bi® in [www.novamont.com](http://www.novamont.com)

Além disso, as características de biodegradabilidade não devem limitar as condições de armazenamento do produto, resultar em infestações de insetos ou resultar em problemas de segurança em aplicações alimentares. Assim, os desafios para produtos elaborados com polímeros biodegradáveis são: Longevidade controlada, executar funções pretendidas, permanecer estáveis durante o armazenamento e utilização e, por fim, biodegradar-se de acordo com o tempo e as condições pretendidas. (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2006)

### Tipos de Polímeros Biodegradáveis

Num esforço contínuo para solucionar este severo e crescente problema dos resíduos de plástico agrícola têm-se desenvolvido materiais promissores, alguns dos quais se encontram já no mercado embora com pouca utilização global. (Briassoulis, 2006) Duas grandes categorias de materiais inovadores estão neste momento a ser desenvolvidas ativamente

pelo mundo inteiro. Em particular, entre estes materiais em desenvolvimento estão filmes realmente biodegradáveis e filmes parcialmente biodegradáveis ou ainda filmes de fotodegradação controlada seguida de um destino questionável no solo. Deve-se no entanto enfatizar que em todos estes casos de filmes biodegradáveis agrícolas a biodegradação é um dos requisitos fundamentais. (Briassoulis, 2006)

### **Mater-Bi**

Mater-Bi® é o nome de uma inovadora família de bioplásticos constituídos por substâncias provenientes de plantas, como amido, e outros polímeros biodegradáveis obtidos de matérias-primas renováveis e de matérias-primas fósseis. É produzido na fábrica de Terni, de onde sai sob a forma granular, podendo posteriormente ser processado com recurso às técnicas tradicionais de transformação de plásticos. ([www.novamont.com](http://www.novamont.com)) Pode ser usado para criar produtos cujas características sejam similares às dos plásticos tradicionais ou ainda melhores que as destes últimos. No entanto são perfeitamente biodegradáveis e compostáveis. As diferentes formas de Mater-Bi® são conhecidas por “graus” e cada uma é identificada pelo respetivo código.

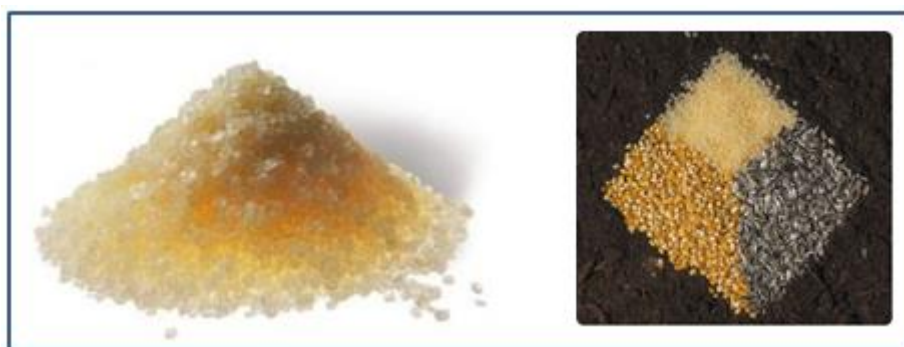


Figura 2.13 - Aspeto visual das diferentes formas de Mater-Bi® in [www.novamont.com](http://www.novamont.com)

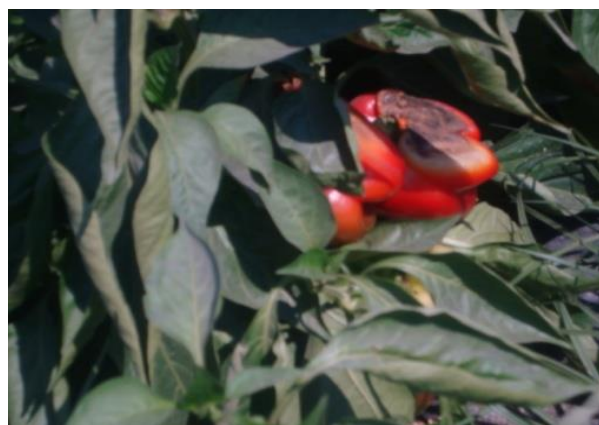
Nos graus que contêm amido, este é complexado com quantidades variáveis de agentes complexantes poliméricos biodegradáveis de forma a criar uma ampla variedade de superestruturas moleculares contendo um espectro alargado de propriedades para diferentes usos. Na ampla família Mater-Bi® a mais recente “segunda geração” de graus surgiu de matérias-primas obtidas a partir de óleos vegetais. Esta nova gama de produtos denota sinergias com a já consolidada tecnologia de processamento de amido. Todos os produtos Mater-Bi® são biodegradáveis através da compostagem. Alguns podem ser compostados sob condições mais severas de compostagem doméstica enquanto outros se biodegradam no solo. (Novamont, 2014)

## **Vantagens da Utilização dos Plásticos Biodegradáveis**

O aparecimento de plásticos biodegradáveis veio proporcionar importantes soluções para este problema tão sério e tão difundido. No entanto este aparecimento tem-se efetuado bastante devagar e várias razões são apontadas para justificar este facto: Características pobres de desempenho funcional do plástico, elevado custo de produção, resiliência da indústria tradicional do plástico, casos de greenwashing. (Philp *et al.*, 2012) O aparecimento de plásticos biodegradáveis veio também aliviar o problema da crescente deposição em aterro deste tipo de materiais. Além disso, o custo de recolha destes resíduos é eliminado. (Ren, 2003) Os plásticos biodegradáveis provenientes de fontes renováveis ajudam também a preservar os recursos não renováveis, contribuindo para o desenvolvimento sustentável. (Ren, 2003) Enquanto se desenvolve o plástico verdadeiramente biodegradável, foi se desenvolvendo em simultâneo o plástico bio-baseado, oferecendo melhores características de performance, mas sacrificando a biodegradabilidade. (Philp *et al.*, 2012) Moreno e Moreno concluem no seu ensaio de 2008 realizado em Castilla-La-Mancha num ciclo cultural de tomate que os filmes biodegradáveis cumprem todas as funções dos filmes de cobertura convencionais de polietileno e que este último tem efeito negativo mais significativo nas propriedades microbiológicas do solo que os filmes biodegradáveis. Os filmes de cobertura biodegradáveis aquecem menos os solos que os tradicionais de polietileno, facto que pode ser favorável em áreas e em estações do ano caracterizadas por temperaturas altas responsáveis por danos nas culturas. (Moreno & Moreno, 2008)

## **Legislação Aplicável**

O conceito de Economia Bio-baseada surgiu como conceito político no seio da OCDE no início do século, juntando recursos biológicos renováveis e bioprocessos à escala industrial das biotecnologias para produzir produtos sustentáveis, emprego e rendimento. (Philp *et al.*, 2012)



**Figura - 2.14 - Danos causados pelas elevadas temperaturas e insolação**

A questão dos bioplásticos carece de legislação aplicável que a favoreça quando comparada com o vasto leque de instrumentos políticos válidos que se aplicam à procura e oferta de biocombustíveis e respetiva produção. (Philp *et al.*, 2012)



## 2.6. A Cultura do Pimento no mundo e em Portugal

### Origem e História da Cultura

O pimento é uma planta originária da América Tropical, onde é cultivado e usado como alimento, desde os tempos pré-históricos. Foi cultura desconhecida na Europa, até à descoberta da América por Colombo. (Gardê, 1988)

Todas as espécies de *Capsicum* são nativas das regiões tropicais e temperadas da América. O centro de origem de *C. annuum* situa-se na região do Perú-Bolívia, onde era cultivado há mais de 7000 anos, e donde se expandiu para a América Central, de tal forma que o centro de diversidade se localiza no México. A espécie *C. annuum* foi introduzida na Espanha por Colombo em 1493, donde se dispersou pelo Velho Mundo. (Almeida, 2006)

### Enquadramento Taxonómico e Situação Botânica

Todas as formas de pimento utilizadas pelo Homem pertencem ao género *Capsicum*. Este género inclui-se na extensa família das Solanáceas:

Tabela 2.3 - Enquadramento taxonómico da planta de pimento

Divisão:	<i>Spermatophyta</i>
Linha XIV:	<i>Angiospermae</i>
Classe A:	<i>Dicotyledones</i>
Ramo 2:	Malvales - Tubiflorae
Ordem XXI:	<i>Solanales (Personatae)</i>
Família:	<i>Solanaceae</i>
Género:	<i>Capsicum</i>

Atualmente considera-se que esta família está formada por 90 géneros, os quais se encontram divididos entre 2 sub-famílias: *Solanoideae* e *Cestroideae*. A diferença entre estas duas sub-famílias baseia-se em diferentes modelos de desenvolvimento do embrião. Nas *Solanoideae* o embrião está enrolado e é de um diâmetro mais ou menos uniforme. Nas *Cestroideae* o embrião é tipicamente reto ou ligeiramente curvado. Além disso, um grande número de diferenças morfológicas, químicas e citogenéticas acompanha esta divisão básica. (Nuez *et al.*, 1996)

**Tabela 2.4 - Classificação botânica da planta de pimento**

Família	<i>Solanaceae</i>
Subfamília	<i>Solanoideae</i>
Tribo	<i>Solaneae</i>
Género	<i>Capsicum</i>
Secção	<i>Capsicum</i>
Espécies	<i>Capsicum annuum</i> L. <i>Capsicum frutescens</i> L.

O género *Capsicum* inclui atualmente 25 espécies, das quais 5 foram domesticadas. A principal espécie é *C. annuum*, que inclui pimentos doces e pungentes, seguida de *C. frutescens*, nome científico do piripiri. Existem 3 espécies de menor importância global que são cultivadas em regiões tropicais: *C. baccatum*, *C. chinense* e *C. pubescens*. O género *Capsicum* pertence à mesma tribo que os géneros *Solanum* e *Lycopersicon*, embora não seja monofilético com estes. (Almeida, 2006)



**Figura 2.15 – Planta e flor do pimento (*C. annuum* L.) in cultivehortaorganica**

### **Utilizações e Importância Económica**

O pimento é cultivado pelos seus frutos, que são objeto de múltiplas utilizações. Como produto hortícola, os frutos são consumidos em fresco ou cozinhados, verdes ou maduros. A cultura horto-industrial do pimento destina-se ao fabrico de produtos congelados ou desidratados. O pimento também é utilizado como condimento e como matéria-prima para a extração de corantes alimentares e oleorresinas. (Almeida, 2006)

O cultivo do pimento tornou-se universal, estando presente praticamente em todas as zonas temperadas e quentes do mundo. (Nuez *et al.*, 1996) A geografia das preferências de consumo de pimentos está relacionada com o clima. Nas regiões temperadas, predomina o consumo de pimentos doces, enquanto nas regiões de climas quentes há preferência pelos



tipos pungentes. (Almeida, 2006) As superfícies dedicadas ao cultivo dos distintos tipos varietais varia consideravelmente em cada país, em função dos usos e costumes, volume e destino de exportações, etc., dominando nos países africanos e asiáticos os tipos picantes, nos países da europa ocidental os tipos doces, nos países da europa oriental têm grande importância os de tipo *paprika* ou para pimentão e na América tanto os tipos picantes como os doces. (Nuez *et al.*, 1996) Em geral observa-se que o pimento é o quinto cultivar hortícola no que se refere a superfície cultivada e o oitavo enquanto produção total. Este desfasamento entre o lugar que ocupa em superfície cultivada e em produção total, pode explicar-se pela razão fundamental de que o pimento é uma cultivar que apresenta uma quantidade de matéria seca relativamente alta, com o qual a sua produtividade é inferior à de outras culturas hortícolas cujo conteúdo em água é maior. (Nuez *et al.*, 1996)

### **Composição Química e Valor Nutritivo**

O conteúdo nutricional do pimento é alto em comparação com outras hortaliças de amplo consumo, como por exemplo o tomate. (Nuez *et al.*, 1996) O principal valor nutricional do pimento é o seu alto teor em vitamina C; os frutos maduros contêm 150 a 180 mg em 100 g de peso, valor que é muito mais alto do que o do tomate, que só tem 20 a 25 mg. (Gardê, 1988) É também uma boa fonte de vitaminas B1 e B2, e, nos frutos maduros, A e E. Os pigmentos (carotenos, xantofilas e luteína) presentes nos frutos vermelhos possuem propriedades antioxidantes. (Almeida, 2006)

### **Aspetos Morfológicos e Fisiológicos da Planta**

O pimento cultiva-se como planta herbácea anual. (Nuez *et al.*, 1996) No ciclo vegetativo do pimento podem delimitar-se claramente as seguintes fases:

- Germinação
- Crescimento Vegetativo
- Floração
- Frutificação e Maturação

Para que se produza a floração, para além de condições climáticas adequadas, é necessária uma certa “maturidade” da planta, que em *C. annuum* L. se materializa com a presença mínima de 8 – 12 folhas. (Maroto, 1983)

O sistema radicular é a parte da planta que se desenvolve por debaixo do solo. No pimento consta de uma raiz axonomorfa, a qual se ramifica num conjunto de raízes laterais. A ramificação adota em princípio a forma de uma ponta de flecha triangular, com o ápice no extremo do eixo de crescimento. Posteriormente forma-se uma borla de raízes. (Nuez *et al.*, 1996) A borla de raízes aprofunda no solo até 30 – 60 cm, ainda que a distribuição não seja uniforme, com uma maior densidade na parte superficial. Horizontalmente o crescimento estende-se até 30 – 50 cm do eixo. (Nuez *et al.*, 1996). Essa profundidade varia muitíssimo de cultura para cultura. Para uma dada espécie, é ainda função da textura do solo, sendo maior nos terrenos arenosos do que nos argilosos. Nas culturas anuais, a profundidade radical cresce ao longo dos meses do respetivo ciclo vegetativo, enquanto nas vivazes isso se verifica de uns anos para outros, até atingirem o estado adulto. (Raposo, 1996) O desenvolvimento de um bom sistema radicular potencia o vigor e a produtividade. Por isso devem manejar-se adequadamente a rega, a fertilização, as delimitações de plantação e outros aspetos da cultura, assim como se deve exercer um controlo efetivo de ervas daninhas, doenças e pragas. (Nuez *et al.*, 1996) Não é, porém, suficiente o conhecimento da máxima profundidade atingida pelo sistema radical das plantas. É fundamental saber também o modo como se distribui o raizame, ou, melhor, o modo como se processa a respetiva absorção ao longo dessa profundidade. Segundo grande número de autores, a absorção distribui-se, em média, do seguinte modo: 40% no primeiro quarto da profundidade radical, 30% no segundo quarto, 20% no terceiro e 10% no último (Figura 16B). (Raposo, 1996)

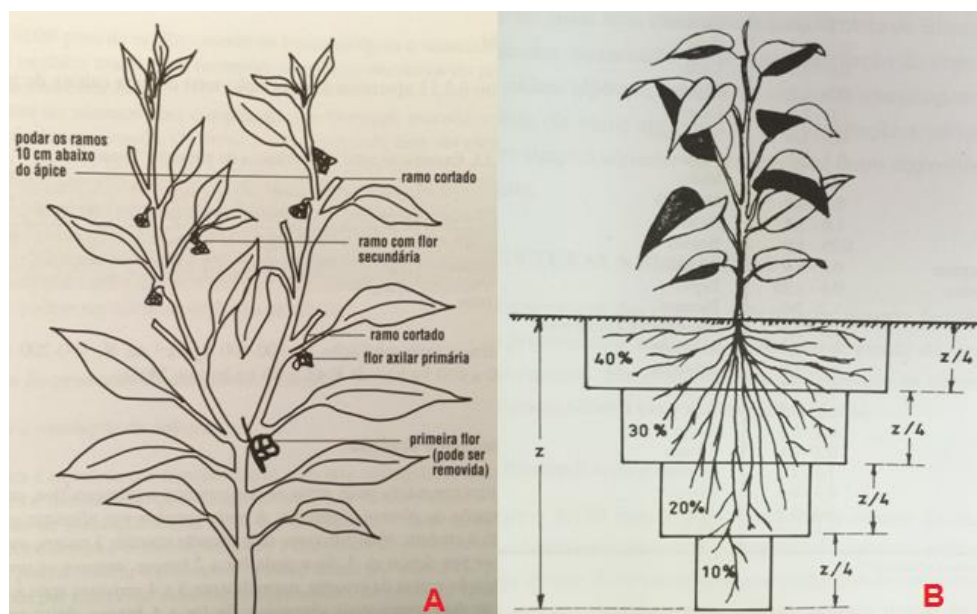


Figura 2.16 – A: Planta de pimento conduzida a dois braços nos estádios iniciais da cultura; in Almeida, 2006 e B: Absorção média ao longo da profundidade radical in Raposo, 1996

A profundidade radical depende também bastante das condições de humidade do solo. As plantas têm raízes mais profundas no sequeiro do que no regadio, tornando-se por isso, até

certo ponto possível regular a profundidade do raizame através da condução das regas. É fundamental saber também o modo como se distribui o raizame, ou melhor, o modo como se processa a respetiva absorção ao longo dessa profundidade. (Raposo, 1996)

### **Necessidades de água e rega**

O pimento é particularmente sensível tanto ao excesso como ao défice de água no solo, pelo que a condução da rega deve ser criteriosa. Devem efetuar-se regas frequentes com baixa dotação, de modo a manter constante o teor de água no solo. O quadro seguinte resume as informações necessárias para a condução da rega no pimento:

**Tabela 2.5 - Informações para a avaliação das necessidades de água e para a condução da rega na cultura do pimento.**  
(Fontes: Allen *et al.* (1998); Sanders (1997)) in Almeida, 2006

<b>Coeficientes Culturais Médios (Kc)</b>	
Kc ini	0,60
Kc mid	1,05
Kc end	0,90
<b>Duração do Período de Desenvolvimento (L)</b>	
L ini (dias)	25 – 30
L dev (dias)	3
L mid (dias)	40
L late (dias)	20
Total (dias)	88 – 108
Altura Máxima das Plantas (m)	0,7
Profundidade Radicular Máxima (m)	0,5 – 1,0
Classificação da Profundidade do Sistema Radicular	Moderado
Fracção p (fracção de esgotamento da água do solo em conforto hídrico)	0,30
Valor Mínimo da Leitura do Tensiómetro (cbar)	-45
Valor Mínimo da Capacidade Utilizável (%)	50
Tolerância ao Défice Hídrico	Moderada

O sistema de rega mais utilizado atualmente é por gota a gota, que permite a cobertura do solo e a fertirrigação. (Almeida, 2006) De acordo com este autor, as exigências em água na região mediterrânica estimam-se em cerca de 400 a 800 mm durante o ciclo cultural.

## **Preferências Edáficas**

Como a maioria das culturas, o pimento apresenta uma grande plasticidade em relação ao tipo de solo, desde que este seja preparado de forma adequada. Apesar disso prefere solos com texturas arenosas ou francas, profundos e bem drenados. Os solos argilosos são de evitar, pois tendem a aquecer lentamente. Em contraste, os solos arenosos favorecem a precocidade. (Almeida, 2006)

Relativamente à temperatura, o pimento e, principalmente, as suas variedades “doces” apresentam exigências maiores que as do tomate. O seu desenvolvimento ótimo produz-se para temperaturas diurnas de 20 °C – 25 °C, e de temperaturas noturnas de 16 °C – 18 °C. Abaixo dos 15 °C o seu desenvolvimento vê-se afetado e deixa de crescer abaixo dos 10 °C. (Maroto, 1983). Considera-se uma cultura com sensibilidade moderada à salinidade, adaptando-se bem a valores de pH entre 5,5 e 7,5, sendo os valores mais favoráveis entre 6,0 e 7,0. (Almeida, 2006)

### **2.7. Tecnologia de Produção do Pimento para Indústria**

#### **Rotação**

O pimento horto-industrial é uma cultura sachada, cabeça de rotação, que pode beneficiar da correção orgânica do solo. O período de recorrência deve ser entre 3 a 5 anos. As Poáceas, Fabáceas, Apiáceas, Aliáceas, Brassicáceas e Asteráceas são boas alternativas culturais. (Almeida, 2006)

#### **Instalação da cultura**

Entre os sistemas de cultivo mais tradicionais de cultura de pimento, os mais utilizados são: em camalhão, em sulcos ou em terreno plano. Em todos estes casos, a instalação é feita com plântulas de pimento, já endurecidas e com seis a sete folhas verdadeiras, à mão numa única fila de plantas, permitindo uma ventilação mais eficaz e facilitando os trabalhos de cultivo, tratamentos e recolção. (Nuez *et al.*, 1996)

Embora a cultura se possa instalar por sementeira direta, a instalação da cultura por transplantação é vantajosa devido às elevadas exigências térmicas da planta e ao elevado custo das sementes híbridas. (Almeida, 2006)



Figura 2.17 – Aspeto visual de plântulas de pimento em placas de isopor antes da transplantação *in cultivehortaorganica*

A transplantação com raiz protegida permite reduzir substancialmente a crise de transplantação, encurtar o ciclo cultural e aumentar a produtividade. (Almeida, 2006)

### **Preparação do solo**

Tipicamente, a preparação do solo envolve lavoura ou sub-solagem, gradagens e preparação superficial da cama de sementeira ou plantação. O terreno pode ser mantido à rasa ou armado em camalhões para facilitar a drenagem e o aquecimento. (Almeida, 2006)

### **Sistemas de cultura**

Seguidamente são apresentadas, de forma sumária, os principais sistemas para a cultura do pimento:

#### **a) Cultura em camalhão**

Para realizar a cultura em camalhões efetuam-se sobre o terreno em camalhões de 15 a 20 cm de altura. Imediatamente a seguir e, de modo a assegurar que a água alcance as raízes, efetua-se uma rega abundante. A densidade de plantas é de 3 a 4 por m<sup>2</sup>. A distância entre camalhões 1 a 1,10 metros e, entre plantas no mesmo camalhão de 25 a 30 cm. (Nuez *et al.*, 1996) O terreno armado em camalhões facilita a drenagem e o aquecimento. (Almeida, 2006)



Figura 2.18 - Aspeto visual da preparação mecânica de camalhões *in cultivehortaorganica*

### **b) Cultura em sulcos**

A plantação realiza-se cortando o terreno em sulcos de aproximadamente 25 cm de profundidade. A densidade média de plantas é similar à do sistema de cultivo anterior.

### **c) Cultura em terreno plano**

Neste sistema, efetua-se a plantação das linhas de plântulas com aproximadamente 1 metro de distância, sendo de 33 a 40 cm a distância entre plantas nas linhas. (Nuez *et al.*, 1996) É vantajoso cobrir o solo com filme de polietileno negro, para combater as infestantes e aumentar a eficiência do uso da água. A cobertura do solo permite aumentar a densidade de plantação, a precocidade e a produtividade da cultura do pimento. Plásticos refletores reduzem os ataques de afídeos e a incidência de viroses. Em sistemas de cultura em que se recorre à cobertura do solo, a rega é feita por rampas de gotejadores, normalmente do tipo fita de rega, colocadas sob o plástico. (Almeida, 2006)

**Tabela 2.6 - A cultura do pimento em Portugal; adaptado de Almeida, 2006 atualizado com dados do INE para 2012**

	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>Média de 2001, 2002 e 2003</b>	<b>2012</b>
<b>Superfície (ha)</b>	1402	1616	1695	1571	1363
<b>Produção (t)</b>	43596	50371	47637	47201	55634

A plantação é realizada entre o início de Abril e finais de Maio. No sistema de cultura atualmente predominante em Portugal, para a produção de frutos destinados à indústria de congelados, a plantação efetua-se com uma densidade de cerca de 30 000 a 38 000 plantas/ha, em linhas pareadas cujos centros distam 150 cm. Nos bilínios, o compasso é de 35 a 40 cm na entrelinha e de 40 a 44 cm entre plantas na linha. (Almeida, 2006)

### **Método de rega da cultura**

Em sistemas de cultura em que se recorre à cobertura do solo, a rega é feita por rampas de gotejadores, normalmente do tipo fita de rega, colocadas sob o plástico. (Almeida, 2006). A rega gota-a-gota, assim chamada por ser um método que aplica a água de rega de uma forma lenta e pontual (localizada sob a forma de gotas), em locais previamente fixados e por intermédio de emissores, também vulgarmente designados por - gotejadores – uniformemente distribuídos ao longo dos ramais laterais.



Figura 2.19 - Aspeto visual de fita de rega; in japl-lojaonline

A água é aplicada ao solo por intermédio de emissores funcionando a baixas pressões, da ordem dos 20 – 200 KPa e dimensionados para pequenos caudais, normalmente entre 2 – 12 L/h. A água à saída do gotejador vai distribuir-se no solo à volta daquele, de acordo com um determinado padrão de humedecimento, função das características hidráulicas do solo.

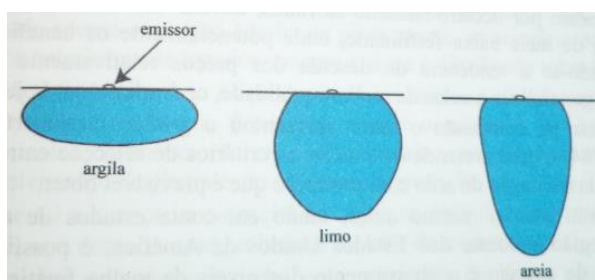


Figura 2.20 - Padrões de humedecimento típicos a partir de um emissor; in Oliveira, 2011

Tem-se verificado um número alargado de experiências conduzidas com rega gota-a-gota e em culturas cobertas por filmes plásticos para estudar incrementos na produtividade em diversas variedades e condições agro-climáticas. (Yaghi *et al.*, 2013)

Aproximadamente 20% a 60% das produtividades mais elevadas foram obtidas em rega gota-a-gota, em alguns estudos (Sivanappan *et al.*, 1974); enquanto noutros a produtividade foi igual ou ligeiramente inferior comparativamente a culturas em rega convencional mas acompanhada por uma redução de 30% a 60% nas necessidades em água. (Doss and Evans, 1980; Yaghi *et al.*, 2013)

O custo de aplicar filme de cobertura pode ser bastante elevado em termos de material e de equipamento. Na rega gota-a-gota, o manuseamento do plástico tem de ser mais intensivo. Plantas murchas indiciam fita de rega obstruída enquanto áreas secas indiciam danos de roedores nas fitas de rega. Estes problemas tornam-se mais difíceis de identificar quando as culturas e respetivas fitas estão cobertas por filme. (Yaghi *et al.*, 2013)

### 3. Material e Métodos

#### Local do ensaio, solo e condições climáticas

O ensaio decorreu na localidade Ribatejana de Alpiarça (Latitude: 39°16'05.27"N; Longitude: 8°34'34.81"W), no centro de Portugal. O trabalho experimental foi desenvolvido na exploração agrícola da empresa Bellpepper Lda e decorreu durante um ciclo curto de pimento para a indústria de processamento. O solo onde se realizaram os ensaios experimentais caracteriza-se por ser um fluvissoilo (SRA,1977) evidenciando uma textura arenosa e fina, apresentando uma clara estratificação com horizontes bem desenvolvidos, constituídos por depósitos aluviais caracterizados por uma boa fertilidade natural. (FAO, 2014) De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger o clima é temperado mesotérmico na região, com verões quentes e secos em consequência da dominância dos sistemas subtropicais de elevadas pressões e invernos húmidos – Csa (IPMA, 2014).



#### Delineamento Experimental do ensaio de campo

Durante o ensaio de campo os parâmetros monitorizados foram a temperatura e o teor de humidade no solo. A informação meteorológica utilizada neste trabalho é proveniente do Instituto Português do Mar e Atmosfera (2013) e para esse efeito foram consideradas: temperatura do ar, radiação solar e precipitação.

#### Filmes de Cobertura

Neste trabalho foram utilizados dois tipos de filmes de cobertura: Um biodegradável – BMF designado comercialmente por Agrobiofilm®, constituído por Mater-bi e outro de Polietileno Convencional – PE. As suas principais características são apresentadas na tabela seguinte:

**Tabela 3.1 Principais características dos filmes de cobertura**

Modalidade	Espessura (µm)	Côr	Características	Imagem
BMF (Agrobiofilm®)	17	Preto	Polímeros de amido de milho	
PE	25	Preto	Polietileno de baixa densidade	



## Cronograma do Ensaio de Campo

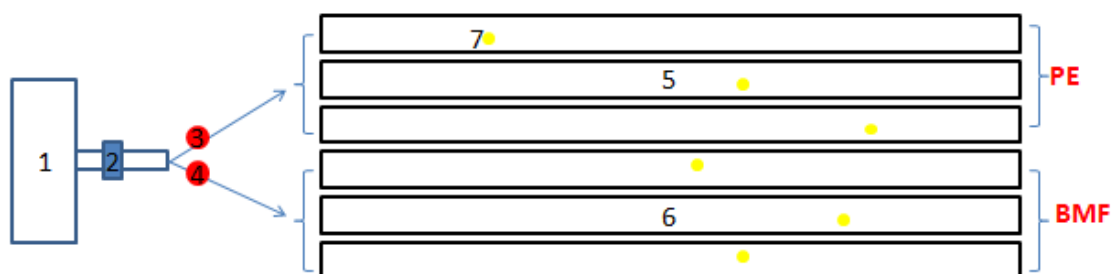
Foi escolhida a variedade “realto” para o ciclo cultural ao ar livre tendo sido iniciado em Maio e finalizado em Outubro de 2013. Na tabela 3.2 sistematiza-se as etapas do ciclo cultural do Pimento.

Tabela 3.2 – Planificação sequencial das fases de campo

Preparação de camalhões e cobertura	Plantação	Crescimento e maturação de frutos	Incorporação de BMF + remoção manual de PE
Maio	Junho	Julho - Setembro	Outubro

## Delineamento Experimental

A experiência foi delineada em 2 blocos, cada um com um tipo de cobertura diferente: Cobertura com Polietileno e cobertura com filme biodegradável. Cada bloco tem 3 camalhões com aproximadamente 40 metros de comprimento e 90 centímetros de largura perfazendo uma área total aproximada a 216 m<sup>2</sup>, como evidenciado na figura 3.1. As plântulas foram colocadas nas linhas com um compasso de 40 centímetros.



Depósito de água - 1, Válvula de controle - 2, Caudalímetros - 3, 4; Camalhões - 5, 6; Sondas - 7

Figura 3.1 - Diagrama esquemático do ensaio de campo

A aplicação dos filmes de cobertura, representada na Figura 3.2, e a colocação das plântulas nos camalhões foi efetuada mecanicamente, tendo sido usados os mesmos equipamentos e práticas culturais em ambas as modalidades de cobertura.



Figura 3.2 – Processo de cobertura do solo

## **Monitorização da temperatura do solo e do teor de água**

A temperatura e o teor de água do solo foram monitorizados com sondas, Decagon 5TM e 5TE, colocadas a uma profundidade de 15cm, sendo os dados recolhidos e armazenados através do sistema METOS® software. Este sistema regista as leituras das sondas de cinco em cinco minutos e comanda as dotações de rega de acordo com as condições predefinidas. Para cada modalidade a água foi controlada através de uma electroválvula de controlo e respetivo caudalímetro para registo da quantidade de água utilizada, figura 3.1. Neste ensaio fixou-se o valor de 20% durante a toda a fase de crescimento vegetativo e aquando da frutificação, mais concretamente dia 23 de Agosto, esse valor foi alterado para 25%.

## **Testes laboratoriais da permeabilidade**

Foram realizados testes de permeabilidade aos filmes de cobertura evidenciados na figura 3.3 (PE e BMF) em dois ensaios distintos: No primeiro ensaio foi testada a perda de água para reproduzir o que ocorre entre o solo e a atmosfera para simular o fenómeno da evapotranspiração. No segundo ensaio foi testada a entrada de água que ocorre entre a atmosfera e solo para simular a precipitação, ao contrário do primeiro ensaio.



**Figura 3.3 – Amostras dos filmes de cobertura: A – Agrobiofilm e B - Polietileno**

## **Avaliação da permeabilidade ao vapor de água**

A permeabilidade ao vapor de água ( $\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{mmHg}^{-1}$ ) foi determinada a  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  de acordo com a norma ASTM sob a designação E 96-00. Foram utilizadas amostras de filme de cobertura, das modalidades em estudo (Figura 3.3), para cobrir recipientes cilíndricos (100 mm de diâmetro) contendo 100 ml de água, no primeiro ensaio (Figura 3.4 e 3.5) e aproximadamente 500g de sílica gel no segundo ensaio. Estes recipientes foram selados com um oringue de borracha de 95 mm de diâmetro e posteriormente colocados no interior de um exsiccador.



Figura 3.4 – Materiais usados no ensaio laboratorial: A – Banda de borracha, B – Recipiente cilíndrico e C – Exsicador



Figura 3.5 – Aspecto visual do ensaio, Parte I

Para cada modalidade foram realizadas três repetições e os recipientes foram colocados no exsicador com sílica no fundo para absorção de água, no primeiro ensaio, invertendo-se as localizações no segundo ensaio (Figura 3.6 e 3.7).



Figure 3.6 – Aspecto visual do ensaio, Parte II



Figura 3.7 - Aspecto final do ensaio – Parte II: A – Recipientes contendo sílica no interior, B – Sílica nos recipientes cobertos com Mater-Bi e C – Sílica nos recipientes cobertos com Polietileno convencional

A medição da transferência do vapor de água através dos filmes de cobertura foi medida diariamente, através de pesagem, ao longo de 20 dias. As pesagens foram realizadas numa balança digital com 4 algarismos significativos. No final foi calculado o índice de

permeabilidade ao vapor de água, *WVP – water vapour permeability*, de acordo com os seguintes cálculos, tendo em conta os procedimentos exigidos pela norma ASTM atrás referida:

### 1º - Obtenção do Declive:

A partir dos gráficos da Figura 3.8 obtiveram-se os respetivos declives (G/t) da perda/ganho de água em ordem ao tempo, por aproximação destas linhas a retas de tendência no Excel.

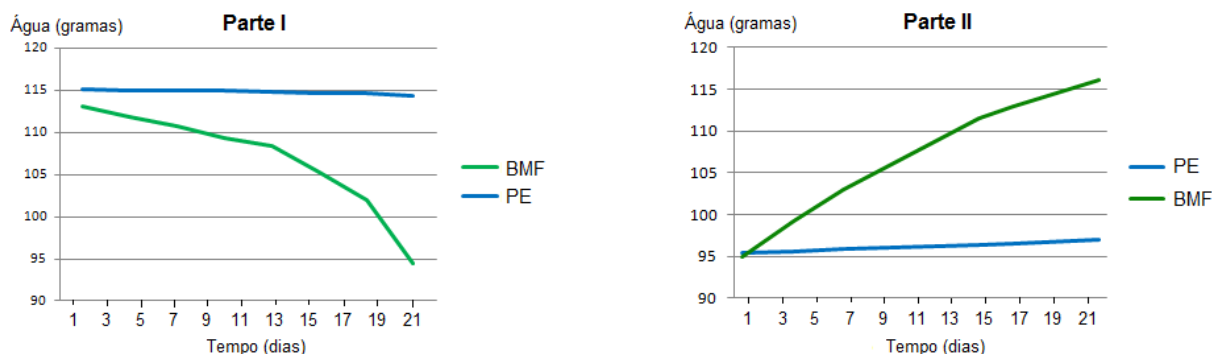


Figura 3.8 – Transferência de Vapor de Água através dos filmes de cobertura testada em laboratório

### 2º - Cálculo da Transferência de Vapor de Água:

$$WVT = (G/t)/A \rightarrow \text{gramas/hora/m}^2$$

Sendo WVT a transferência do vapor de água através do filme, G/t o declive da perda/ganho de peso ao longo do tempo (gramas/hora), e A a área exposta do filme ( $\text{m}^2$ ).

### 3º - Cálculo da Permeância:

$$\text{PERMEÂNCIA} = WVT / \Delta p \rightarrow \text{gramas/hora/m}^2/\text{mmHg}$$

Sendo WVT a transferência do vapor de água através do filme, e  $\Delta p$  o diferencial de pressão de acordo com a norma estipulada = 2339 Pa  $\rightarrow$  17,5 mm Hg.

### 4º - Cálculo de Permeabilidade ao Vapor de Água:

$$WVP = \text{PERMEANCIA} * \text{ESPESSURA} \rightarrow \text{gramas/hora/m}^{-1}/\text{mmHg}$$

Sendo WVP o índice de permeabilidade do filme ao vapor de água e “Espessura” a espessura do filme de cobertura (m).

## Análise Estatística

Os dados deste ensaio foram sujeitos a tratamento estatístico com uma análise de variância (ANOVA) com  $\alpha=0,05$  sendo as diferenças entre médias determinadas através do Teste de Tukey.

## 4. Resultados e Discussão

Os Capítulos referentes aos resultados e discussão são apresentados nas páginas seguintes em formato de artigo científico.

# **IRRIGATION WATER USE EFFICIENCY IN SHORT CYCLE CROP USING MULCH FILMS**

**Carmo Barata, Raquel Costa, Artur Saraiva, Elizabeth Duarte**

*Unidade de Investigação de Química Ambiental, Instituto Superior de Agronomia,  
Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda 1349-017, Lisboa, Portugal*

## **Abstract**

The use of plastic mulch (PE) in agriculture causes serious drawback of huge quantities of waste causing a negative environmental impact. The aim of this work was to evaluate water saving by the use of biodegradable mulch films comparing to PE, establishing a relation between permeability and the balance of water transfer throughout the boundary selected. The field trials were performed during three months. The bell-pepper crop was monitored along the cycle in PE and BMF mulches following the water content and soil temperature through probes buried in all modalities at 15 cm depth. The water vapor permeability was tested in laboratory following an adaption of the ASTM E96/E96M-05 method to predict the behavior of the two types of mulches in real conditions. The results obtained on bell-pepper crop where very encouraged once BMF (*Agrobiofilm*®) saved more water than PE achieving a reduction in water use estimated in approximately 12%.

*Keywords:* Agrobiofilm®, bell-pepper crop, mulching, polyethylene, water use efficiency

## 1. Introduction

Water is, probably, the only natural resource that is related with all the aspects of the humankind. From agricultural and industrial development to cultural and religious values of our society, water is always present. Water supply is a major constraint to crop production in the Mediterranean region where efficient use of water by irrigation is becoming increasingly important (Sezen et al., 2006). Nowadays, human feeding has its origin in agricultural activities, directly by biomass production and indirectly by livestock. However, the best crop productions are obtained in the irrigated agriculture. Furthermore, irrigation methods deliver the regularization of agricultural productions. Irrigation is, therefore, vital to humankind. In this sense, there is a huge necessity in saving water supplies for irrigation and all water management methods and mechanisms are extremely important. Along with watering questions, irrigation also highlights the environmental ones. An extensive and steadily expanding use of plastic films in agriculture is reported world-wide over the last decades (Briassoulis, 2006). Mulching promotes crop growth and development, increasing economic benefit, decreasing incidence of diseases, conserving soil water volume content and temperature (Bennett et al., 1966; Elmer, 2000; Hillel, 1980; Li et al., 2004; Liang et al., 2011; Mahajan et al., 2007; Salau et al., 1992; Zhang et al., 2009). Reduce soil erosion from wind or water and leaching of fertilizers (Green et al., 2003; Moreno and Moreno, 2008; Scarascia-Mugnozza et al., 2006). In spite of that great advantage, the application of plastic mulches carried a lot of environmental problems. Science progressed in the aim of that ambiguity and discovered a kind of materials that fulfill plastic functions and has different chemical composition. The search for biodegradable mulch films and their introduction to the marketplace would appear to be a suitable strategy to solve such a problem (Philp et al., 2012). The impact that the mulch films may have in the soil water evaporation is one of the most important features to be evaluated, once the use of these new materials in agriculture should not compromise, either the environment, or the crop yield. The aim of this work was to contribute to fulfill the lack of information relatively to water saving by the use of biodegradable mulch films comparing to PE, establishing a relation between permeability and the balance of water transfer throughout the boundary selected. This study was developed during 2013 on a short cycle crop. The bell-pepper crop was monitored along the cycle in the PE and BMF mulches following the water content and soil temperature through probes buried in all modalities at 15 cm depth.

## **2. Experimental**

### *2.1. Experimental location, soil and climate conditions*

The field trials took place in Alpiarça (Latitude: 39°16'05.27"N; Longitude: 8°34'34.81"W), from the Ribatejo region, located in the center of Portugal. It was being performed by a local producer – Bellpepper Lda and followed during one bell-pepper crop cycle.

The soil from the test site is characterized as an old fluvisols (SRA, 1977) with a loamy sand texture. This type of soil has shown a clear evidence of stratification and its horizons are poorly developed. They are formed of alluvial deposits and present good natural fertility (FAO, 2014). According to Köppen-Geiger climate classification system, the climate of this region is temperate/mesothermal with dry and hot summer due to the domination of the subtropical high pressure systems, and wet winter - Csa (IPMA - Instituto Português do Mar e Atmosfera, 2014).

### *2.2. Experimental design and set-up*



The parameters assessed were the soil temperature, soil water volume content under the mulches (real conditions), and mulch water volume permeability (WVP) (laboratorial conditions). The meteorological conditions during the field trials were compared with the average of the last ten years in order to assess the representativeness of the data collected. The meteorological data was acquired by a meteorological station from Portuguese Institute of Marine and Atmosphere (2013).

### *2.3. Mulches*

Two different types of mulch films were used within the field trials, one biodegradable mulch film (BMF) made from a new Mater-Bi grade designed by Agrobiofilm® (Agrobiofilm consortium, 2013) and one low density polyethylene mulch film (PE) (commercially available in Portuguese market). The main characteristics of the tested mulches are described in Table 1.

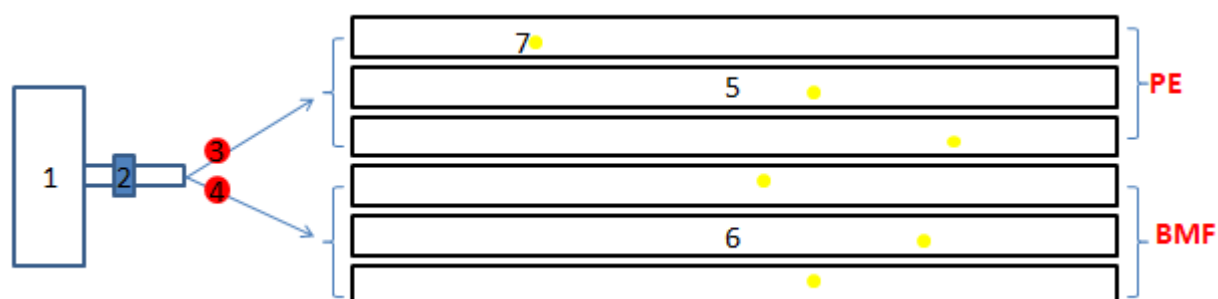


**Table 1.** Mulch films main characteristics

<i>Treatment</i>	<i>Thickness (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	<i>Colour</i>	<i>Characteristics</i>	<i>Image</i>
BMF (Agrobiofilm®)	17	Black	Starch based mulch film (mater-bi®)	
PE	25	Black	Low density polyethylene	

#### 2.4. Field trials

The bell-pepper crop production was performed in open field conditions, started in May 2013 and ended in October of the same year. The cultivar was chosen by the producer and the commercial name is “*realto*”. Trials were designed as complete randomized blocks with two mulch treatments, BMF (Agrobiofilm®) and PE each one with three replications. The total area of the experimental trial was approximately 217 m<sup>2</sup>. A pilot scale irrigation unit was placed in the field to allow the irrigation management according to crop requirement by the continuous measurement of soil temperature and water volume content (WVC). The soil data was obtained through soil probes buried at 15 cm depth in all modalities to monitor the influence of films permeability and to control irrigation root absorption zone. The probes were connected to a valve set and flow meter where amounts of irrigation water are recorded as illustrated in Fig. 1.



**Fig. 1.** Field trials Layout: water deposit – 1, water valve – 2, flow meters – 3, 4; crop rows – 5, 6; soil probes – 7

The requirement irrigation water conditions were predefined in 20% and 25% of WVC according to crop maturation stage. All the data acquirement and storage was performed by METOS® software, a *Field Climate Application*, during the entire trial (METOS®, 2013). For this purpose temporal universe of available data was monitored. July was a month of field trials adaptation, validation of methods and calibration devices. We have selected the data from probes during the period between 30/07 and 01/10 to be discussed in the results. The stretching of both BMF and PE was performed mechanically and the planting was done manually. Equipment and cultural practices used were the same for both kinds of mulch films.

### 2.5. Laboratorial permeability tests

The trials were performed from 17<sup>th</sup> February to 31<sup>st</sup> March 2014. Two permeability tests were performed in laboratory to evaluate the films water vapor permeability (WVP) in two different ways: in the first assay was tested the mulch permeability between the soil and the atmosphere, simulating what happens with evapotranspiration and evaporation in real conditions; in the second assay was tested the mulch permeability between the atmosphere and the soil, simulating what occurs with precipitation and dew entrance in real conditions. In the first assay film samples were attached to a cylindrical container with 100 ml of distilled water inside. These containers were sealed, stretching the mulches, in order to keep the area of water vapor transfer constant along the trial. Three repetitions of each modality were made, and placed in desiccators with silica gel on the bottom. In the second assay, WVP of mulches was determined at  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  as in the previous test, but in this assay silica gel was placed inside the containers and distilled water was placed into the desiccator's bottom. Three repetitions of each film were made, and the water vapour transfer through the exposed film area was measured from the container weight loss/gain as a function of time for both assays respectively. The containers were weighed every 24 h along twenty days and WVP was calculated for each modality.

## 3. Statistical analysis

Data obtained from the field trials and laboratorial experiments were subjected to analysis of variance ( $\alpha=0.05$ ) and the difference between means was determined following the Tukey procedure.

## 4. Results and discussion

### 4.1. Meteorological conditions

During the period of the field trials the air temperature, solar radiation and precipitation were similar when compared with the average of the previous years. The air temperature mean values in the region are approximately 25°C between July and August and 24 °C in September. The solar radiation mean values are 850 MJm<sup>-2</sup>, 750 MJm<sup>-2</sup> and 550 MJm<sup>-2</sup>, respectively. This summer was hot and dry and the weather was considered typical when compared with the last decade in the region where the trials were performed. Regarding to precipitation there were some atypical days with rainfall at the end of September. The precipitation in the region during this period of time (five last days of the month) was approximately 50 mm (IPMA, 2013).

### 4.2. Soil temperature and water volume content

The data recorded between 30/07 and 01/10 related to the soil probes placed at 15 cm depth in the two treatments were analyzed and are shown in Table 2.

**Table 2.** Temperature and Water volume content obtained with soil probes at 15 cm depth

	<i>BMF</i>	<i>PE</i>
<b>Mean (WVC - %)</b>	18.87±0.030	19.41±0.090
<b>Mean (T - °C)</b>	22.37±0.036	23.27±0.029

During this period WVC is approximately the same for both mulch treatments however the conventional PE modality showed a superior range of values (a variation about three times higher). In practice this fact has resulted in a much higher variation in the water volume content in the soil overtime. In relation to the soil temperature was observed that PE treatment showed an average a slightly superior to BMF treatment, both with the same range of fluctuation values. It was been also studied the average values of temperature (°C) and WVC (%) per month and per treatment, those results are shown in Table 3.

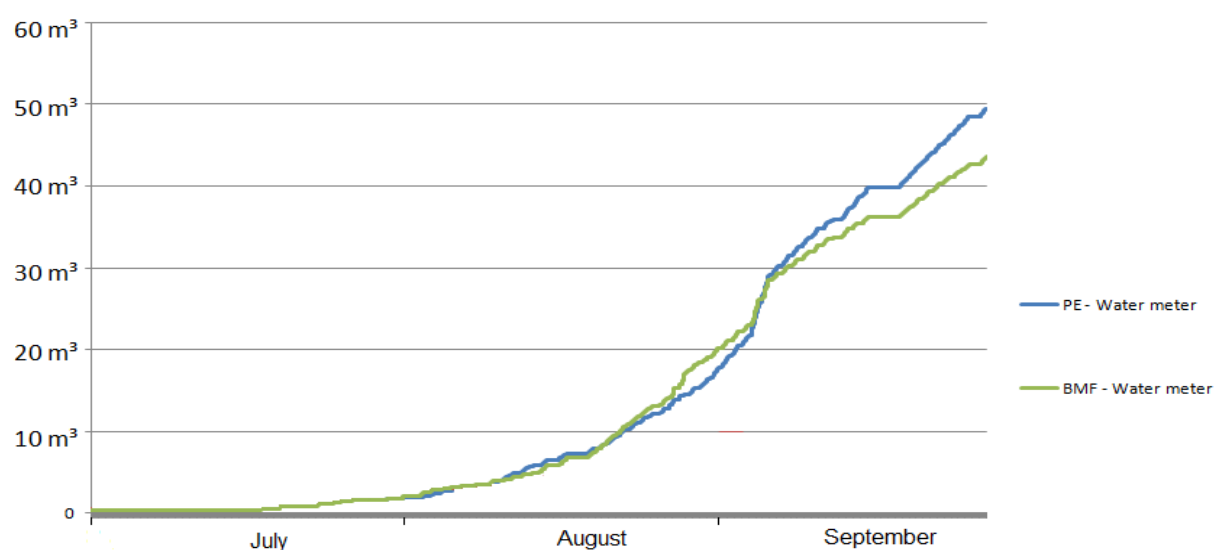
**Table 3.** Average of Soil temperature (°C) and Water volume content (%)

	<i><b>WVC</b></i> <i><b>July</b></i>	<i><b>T</b></i> <i><b>July</b></i>	<i><b>WVC</b></i> <i><b>August</b></i>	<i><b>T</b></i> <i><b>August</b></i>	<i><b>WVC</b></i> <i><b>September</b></i>	<i><b>T</b></i> <i><b>September</b></i>	<i><b>WVC</b></i> <i><b>Total</b></i>	<i><b>T</b></i> <i><b>Total</b></i>
<b>BS</b>	22.09	25.63	23.12	25.23	24.69	22.63	23.30	24.49
<b>PE</b>	22.89	25.79	17.02	24.45	22.10	21.76	20.67	24.00
<b>BMF</b>	no data	no data	17.91	23.44	20.08	21.22	18.99	22.33

According to Almeida (2006) the optimal temperatures for pepper crop during germination, growth and flowering stages are, respectively: 25°C, 20°C - 25°C and 25°C. These cardinal temperatures for pepper cultivation are of the same order of the temperatures recorded during the trials.

#### 4.3. Water requirements and Water use efficiency

The present study shows the effects of drip irrigation on both mulches PE and BMF for crop water utilization aiming the evaluation of water use efficiency (WUE). The results obtained in this study indicated that the amounts of irrigation water in BMF rows were lower in comparison with the PE ones. The highest water consumption at the end of the crop cycle was obtained in PE with approximately 50 m<sup>3</sup> (shown in Fig. 2).

**Fig. 2.** Irrigation requirements in the two modalities

Along the monitoring plan the WVC value was changed to 25% in the 23<sup>rd</sup> August to provide more water in the fructification stage. Fig. 2 also shows the increase in water consumption after this change but regarding the agronomic performance of the films no differences were observed. During the monitored period rows with BMF treatment consumed about 0.134 m<sup>3</sup>m<sup>-2</sup> of fresh water. On the other hand rows with PE treatment consumed about 0.152 m<sup>3</sup>m<sup>-2</sup> of fresh water. Fig. 2 compares and quantifies the crop irrigation requirements in the two modalities used in this field experiment. Observing the results illustrated in Fig. 2 it is possible to identify three different behavior patterns in terms of water consumption: In July there are no significant differences between the irrigation requirements in the two modalities. In August, although the trend in water consumption is higher in BMF treatment than in the PE that tendency was reversely gradually after 20 days, approximately. At the end of the crop cycle, in September the total amount of water measured by the system showed that PE spent more water than BMF. It represents an upgrade in the water use efficiency in this innovative modality. This showed an extra expense of water consumption in the conventional mulch treatment in relation to the biodegradable one quantified in about 12% of the total water used during the trial.

Table 4 shows the average intakes of water in both kinds of mulching treatments during the monitored period of the crop cycle.

**Table 4.** Monthly water consumption (m<sup>3</sup>)

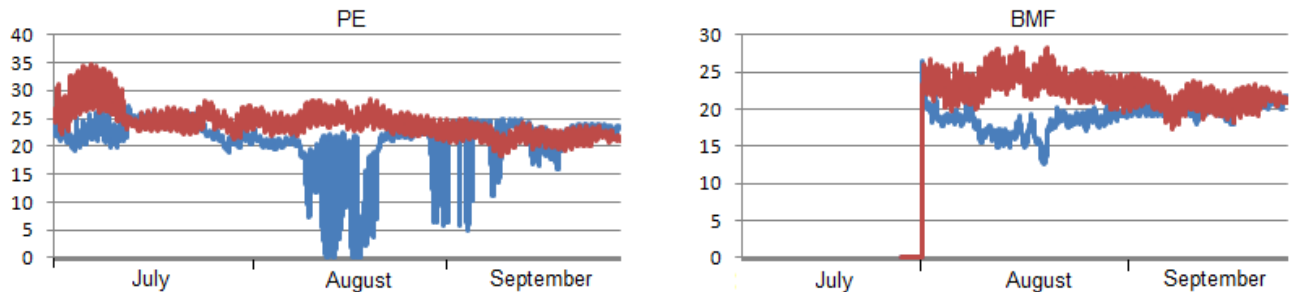
<i>PE</i>	<i>BMF</i>
16.48 $\pm$ 0.57	14.53 $\pm$ 0.53

From the evaluation of Table 4 can be stated that there are significant differences between the water consumption of the two tested mulches, for  $\alpha=0.05$  level of significance. BMF treatment achieved a reduction in water use estimated in approximately 12%.

#### 4.4. Fieldclimate - automated irrigation system

There were some punctual difficulties with the automatic system that equally affected the two modalities, don't alter the water requirements comparison between modalities. It was verified that when this kind of occurrences happened the soil showed different behavior

between modalities. Faced with a problem of water shortage the soil with PE treatment rapidly decreased the WVC reaching null values. On the other hand and taking into account the same conditions, the rows with BMF reduced the WVC at a lower rate and didn't reach null values. This phenomenon is illustrated in Fig. 3.

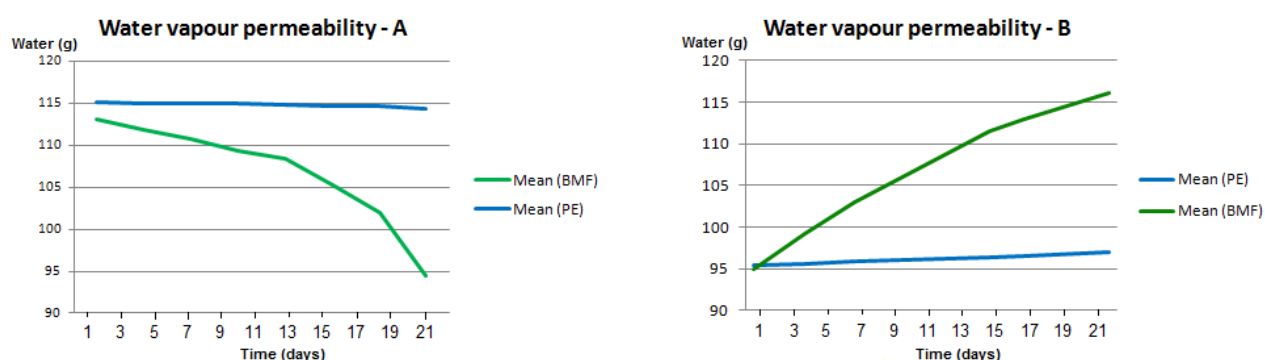


**Fig. 3.** Temperature (°C) and Water volume content (%) at 15 cm depth in both mulch treatments

This curious fact gives important clues to further studies in soil WVC behavior when covered with biodegradable mulches. The function of this automated irrigation system is to irrigate the pepper crop only when it is necessary allowing an increase in water use efficiency and improving irrigation management. According to recent studies realized in the same project there were no significant productivity differences between crops with PE and crops with BMF (Costa et al., 2012). During the field experiment was found that there was an increase in the WVC values after the occurrence of precipitation. According to information in the climatologic IPMA information there was heavy rain at the end of September focusing more intensely on 28th. Along this day was carried out a more detailed study of the behavior of water volume content over time. There was an increase on the average values of WVC in the soil mulched with BMF when compared to one day without rainfall (21<sup>st</sup> September 2013). To illustrate this example it was chosen the 21st September, which preceded the occurrence of rainfall in the region. This fact may be due to the permeability of the bio mulch treatment in the soil covered with this kind of material.

#### 4.5. Laboratorial data Processing

Samples named BMF are related to biodegradable mulch film and samples with PE are related to conventional polyethylene.



**Fig. 4.** Laboratorial experiment determining Water vapour permeability in Bio mulch film and Conventional polyethylene

In Fig. 4a and 4b are shown the average weight loss and weight gained values for each modality along time, respectively. Relating to weight loss (Fig. 4a), can be stated that BMF allows water outcome, around 20 g in 20 days in the desiccators in contrast to PE that in exactly in the same conditions, practically doesn't lose any weight. In Fig. 4b are shown the average weight gained by both modalities and the behavior was similar to weight loss: BMF allows water income, in the same rate and PE, in exactly the same conditions, practically doesn't gain any weight. These results are consistent with permeability values of other works within the framework of the agrobiofilm project and are shown in Table 5.

**Table 5.** Water vapor permeability values obtained in the laboratorial experiment

<i>Experiment Part</i>	<i>Water Vapor Permeability Values Obtained in this Laboratorial Experiment (<math>\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{mmHg}^{-1}</math>)</i>	
	<i>BMF</i>	<i>PE</i>
<b>Part I Water outcome</b>	$5.88 \times 10^{-6}$	$3.66 \times 10^{-7}$
<b>Part II Water income</b>	$5.82 \times 10^{-6}$	$6.21 \times 10^{-7}$

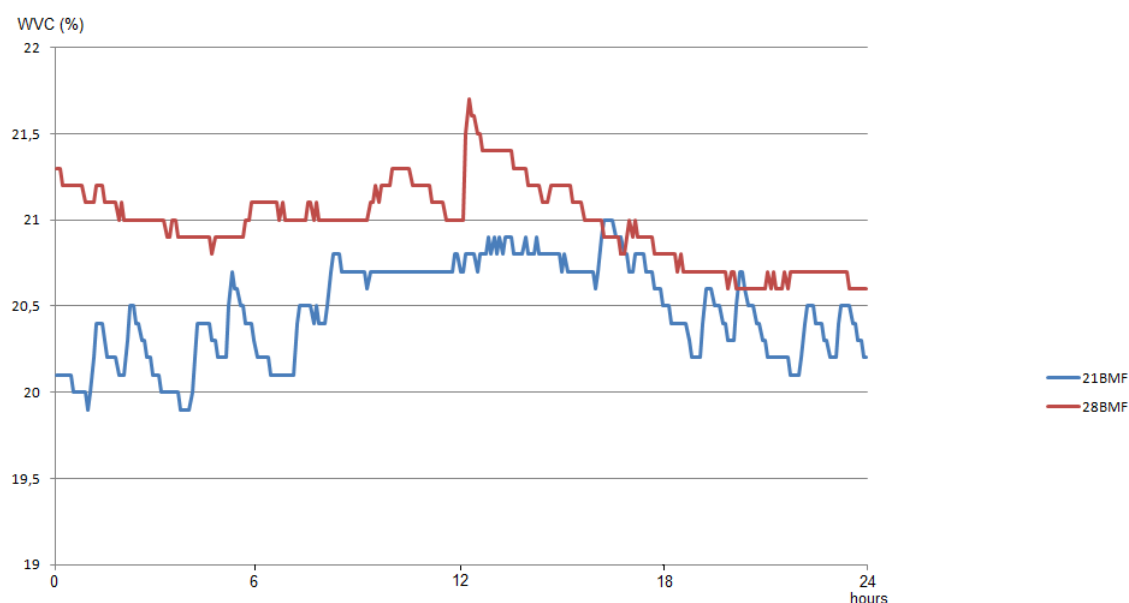
Table 6 shows the total consumption of water throughout the field trial in the two mulching modalities. Comparatively, BMF modality presented water consumption 12% lower than the conventional polyethylene mode.

**Table 6.** Absolute and relative comparison of BMF and PE treatments in the field experiment

<i>Treatment</i>	<i>Percentage of water used</i>	<i>Water used in the irrigation (m<sup>3</sup>)</i>
BMF	88%	43.58
PE	100%	49.47

#### 4.6. Permeability Rate in Conventional Mulches

The permeability rate in PE is approximately zero, as evidenced by the results being in accordance to other authors (Saraiva et al., 2013). For this reason there is no need to assess water losses in terms of evaporation and evapotranspiration in crop cycles with this kind of cover materials. On other hand, as evidenced by the 28<sup>th</sup> September probe results (Fig. 5), the barrier effect allows no incoming of water from rainfall or dew entrance.



**Fig. 5.** Increment in the average WVC values in the presence of precipitation, 21st – day without precipitation and 28th – day with precipitation



#### **4.7. Permeability Rate in Agrobiofilm®**

The permeability rate in BMF is approximately constant overtime, as evidenced by the lab results. It can be assumed that the permeability of the mulches in the field remains close to the laboratorial WVP values since the average soil temperatures (Table 2) were similar to the conditions of the assay. There is a need to assess water losses from evaporation and evapotranspiration and its rate in crop cycles during real field conditions with this kind of cover materials. The water losses in these cases are significantly high due to chemical and structural properties of the mulches. There is a lack of knowledge in this point. In this laboratorial assay were evaluated the permeability behavior of the mulches and its water vapor permeability was calculated. It is important to emphasize that the water permeability rate is constant in its way in too, so the dew or the rain can pass through the mulch and reach the soil, balancing the water content lost by evaporation. The permeability results from the 1<sup>st</sup> test are in accordance to other authors (Saraiva et al., 2013).

### **5. Conclusions**

Climate conditions were typical and the results obtained are valid for Mediterranean conditions. The equipment and cultural practices used did not change by the use of BMF confirming other author's results. BMF showed adequate soil temperature and WVC and spent less water than PE with similar crop yields. There are good results in terms of agronomic performance of the biodegradable film, and also in the productivity and quality of the crop production in both mulching modalities. Permeability values of the films were obtained in the laboratory and are of the same order of magnitude as previous studies. Agrobiofilm® showed to be a viable substitute to conventional polyethylene. This important study can be the basis to further studies that confirm these results in lab and real conditions in order to improve our sustainable agricultural practices.

### **Acknowledgements**

The authors thank the producer, Vitor Hugo from Bellpepper Ltd company the possibility of conducting the field trial and the company Silvex – Plastic and paper industry for kindly provide the films used in our study.

Agrobiofilm project, was funded by the European Union's Seventh Framework Program (FP7/2007-2013) managed by REA – Research Executive Agency – under the grant agreement number 262257.

## References

- Agrobiofilm Consortium (2013), *Agrobiofilm - Compostable Films for Agriculture*. Silvex, Biobag & ICSE(Eds) 1<sup>st</sup> Edition, 23.
- Almeida D. (2006). *Manual of Horticultural crops* – Vol. II (Portuguese). Editorial Presença. Lisbon. 72-94.
- An Outline of Standard ASTM E96 for *Cup Method Water Vapour Permeability Testing* – Labthink Instruments Co., Ltd
- ASTM International (2001). *Standard Test Methods for Water Vapour Transmission of Materials*. Copyright ASTM International. United States.
- Briassoulis D. and Dejean, C. (2010) Critical review of norms and standards for biodegradable agricultural plastics. Part I. Biodegradation in soil. *Journal of Polymers and the Environment*. **18**, 384-400.
- Briassoulis D. (2006). Mechanical behaviour of biodegradable agricultural films under real field conditions. *Polymer Degradation and Stability*. **91**, 1256 – 1272.
- Costa, R.; Saraiva, A.; Carvalho, L.; Duarte, E. (2014). The use of biodegradable films on strawberry crop in Portugal. *Scientia Horticulturae*. **173**, 65–70.
- FAO, FAO World Reference Base for Soil Resources, On line at: <http://en.wikipedia.org/wiki/Fluvisol>
- IPMA (2013). *Climatological Monthly Bulletin – September* (Portuguese), Portuguese Institute of Sea and Atmosphere, Lisbon, Portugal.
- Kang, S.; Zhang, L.; Hu, X.; Li, Z. and Jerie, P. (2001). An improved water use efficiency for hot pepper grown under controlled alternate drip irrigation on partial roots. *Scientia Horticulturae*. **89**, 257 – 267.
- Liang Y.; Wu X.; Zhu J.; Zhou, M. and Peng, Q. (2011). Response of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) to mulching practices under planted greenhouse condition. *Agricultural Water Management*. **99**, 111 – 120.
- Moreno M. M. and Moreno A. (2008). Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop. *Scientia Horticulturae*. **116**, 256 – 263.

- Oliveira, I. (2011). *Irrigation Techniques* - Vol. I (Portuguese), Author's edition. 3 - 40
- Philp, J. C.; Bartsev, A.; Ritchie, R. J.; Baucher, M. A. and Guy, K. (2012). Bioplastics science from a policy vantage point. *New Biotechnology*. **00**, 1 – 12.
- Saraiva, A.; Carvalho, L.; Martins, M.; Oliveira, M.; Costa, R.; Costa, A.; Lima, A.; Monteiro, A. A. and Duarte, E. (2013) Performance of biodegradable films in two melon crop cycles in Portugal, (Portuguese). *Electronic system communications of the VII Iberian Congress of agro-engineering and horticultural sciences*, Madrid 2013.
- Scarascia-Mugnozza, G.; Schettini, E.; Vox, G.; Malinconico, M.; Immirzi, B. and Pagliara, S. (2006). Mechanical properties decay and morphological behaviour of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experiment. *Polymer Degradation and Stability*. **91**, 2801 – 2808.
- Sezen, S.; Yazar, A. and Eker, S. (2005). Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. *Agricultural Water Management*. **81**, 115 – 131.

## 5. Conclusão

Durante o ensaio de campo, as condições meteorológicas foram as esperadas para a região e, nesse sentido, os resultados obtidos são válidos para condições similares e para este tipo de solo. Os equipamentos e as práticas culturais utilizadas foram as convencionais neste tipo de procedimentos, independentemente do filme de cobertura usado – convencional e biodegradável.

Tendo em conta os resultados obtidos neste estudo pode concluir-se que o Agrobiofilm® é bastante promissor e que poderá ser uma solução viável e sustentável para substituir os filmes de polietileno convencional. Em termos globais, a modalidade BMF apresentou um menor consumo de água, cerca de 12% menos que PE , o que se traduz numa maior eficiência de utilização de água de rega.

A nível laboratorial foram calculados os valores de WVP verificando-se que as perdas e ganhos de água em PE eram praticamente nulas mas que no BMF são valores significativos devendo ser considerados nos cálculos das necessidades de água. Estes resultados devem ser confrontados com valores provenientes de experiências em condições reais no entanto não existem, atualmente, estudos de influência da permeabilidade deste tipo de filmes de cobertura biodegradáveis em diferentes solos e condições climáticas. Torna-se relevante e promissor dar continuidade a este estudo para diferentes culturas no sentido de melhorar práticas agrícolas sustentáveis.

## Bibliografia

ALMEIDA, D. (2006). Manual de Culturas Hortícolas – Volume II. Editorial Presença. Lisboa. Páginas 72 - 95

AMMALA, A.; BATEMAN, S.; DEAN, K.; PETINAKIS, E.; SANGWAN, P.; WONG, S.; YUAN, Q.; YU, L.; PATRICK, C. AND LEONG, K. H. (2011). An overview of degradable and biodegradable polyolefins. *Progress in Polymer Science*. 36, 1015 – 1049

BILCK, A. P.; GROSSMANN, M. V. E. AND YAMASHITA, F. (2010). Biodegradable mulch films for strawberry production. *Polymer Testing*. 29, 471 - 476

BRIASSOULIS, D. (2006). Mechanical behaviour of biodegradable agricultural films under real field conditions. *Polymer Degradation and Stability*. 91, 1256 – 1272

BRIASSOULIS, D.; HISKAKIS, M. AND BABOU, E. (2013). Technical specifications for mechanical recycling of agricultural plastic waste. *Waste Management*. 33, 1516 – 1530

DÍAZ-PÉREZ, J. C. (2009). Root zone temperature, plant growth and yield of broccoli [*Brassica oleracea* (Plenck) var. *italica*] as affected by plastic film mulches. *Scientia Horticulturae*. 123, 156 – 163

GARDÊ, A. AND GARDÊ, N. (1988). Culturas Hortícolas. Nova Coleção Técnica Agrária. 6ª Edição. Clássica Editora. Lisboa. Páginas 340 - 348

KANG, S.; ZHANG, L.; HU, X.; LI, Z. AND JERIE, P. (2000). An improved water use efficiency for hot pepper grown under controlled alternate drip irrigation on partial roots. *Scientia Horticulturae*. 89, 257 – 267

KIJCHAVENGKUL, T.; AURAS, R.; RUBINO, M.; NGOUAJIO, M. AND FERNANDEZ, R. (2008). Assessment of aliphatic–aromatic copolyester biodegradable mulch films. Part I: Field study. *Chemosphere*. 71, 942 - 953

LIANG, Y.; WU, X.; ZHU, J.; ZHOU, M. AND PENG Q. (2011). Response of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) to mulching practices under planted greenhouse condition. *Agricultural Water Management*. 99, 111 – 120

MAÑAS, F. M.; FUSTER, P. L.; BELMONTE, A. C. (2005). Agua y Agronomía. 1ª Edição. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Páginas 273 – 275, 357

MAROTO, J. V. (1983). Horticultura Herbacea Especial. 3ª Edição. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Páginas 372 - 387

MORENO, M. M. AND MORENO, A. (2008). Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop. Scientia Horticulturae. 116, 256 – 263

NUEZ, F.; ORTEGA, R. G. AND COSTA, J. (1996). El Cultivo de Pimientos, Chiles y Ajíes. 1ª Edição. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Páginas 15 – 54, 61 - 69

OLIVEIRA, I. (2011). Técnicas de Regadio – Volume I. 2ª Edição. Edição do Autor. Páginas 3 - 40

OLIVEIRA, I. (2011). Técnicas de Regadio – Volume II. 2ª Edição. Edição do Autor. Página 973

PEREIRA, L. S.; VICTORIA, F. B.; PAREDES, P.; GARCÍA, M.; PALACIOS, E. AND TORRECILLAS, A. (2010). Tecnologias para o Uso Sustentável da Água em Regadio. CEER – Centro de Engenharia dos Biosistemas. 1ª Edição. Edições Colibri. Lisboa. Páginas 159 - 162

PHILP, J. C.; BARTSEV, A.; RITCHIE, R. J.; BAUCHER, M. A. AND GUY, K. (2012). Bioplastics science from a policy vantage point. New Biotechnology. 00, 1 - 12

RAMAKRISHNA, A.; TAM, H. M.; WANI, S. P. AND LONG, T. D. (2006). Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. Field Crops Research. 95, 115 – 125

RAPOSO, J. R. (1996). A Rega – Dos primitivos regadios às modernas técnicas de rega. 1ª Edição. Edição da Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. Páginas 88, 148

REN, X. (2003). Biodegradable plastics: a solution or a challenge? Journal of Cleaner Production. 11, 27 – 40

ROMIC, D.; ROMIC, M.; BOROSIC, J. AND POLJAK, M. (2003). Mulching decreases nitrate leaching in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivation. *Agricultural Water Management*. 60, 87 – 97

SANTOS, F. D. (2007). Que futuro? Ciência, tecnologia, desenvolvimento e ambiente. Edição da Fundação Calouste Gulbenkian – Publicações Gradiva. Lisboa. Páginas 350 – 354, 536.

SCARASCIA-MUGNOZZA, G.; SCHETTINI, E.; VOX, G.; MALINCONICO, M.; IMMIRZI, B. AND PAGLIARA, S. (2006). Mechanical properties decay and morphological behaviour of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experiment. *Polymer Degradation and Stability*. 91, 2801 – 2808

SEZEN, S.; YAZAR, A. AND EKER, S. (2005). Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. *Agricultural Water Management*. 81, 115 - 131

SOROUDI, A. AND JAKUBOWICZ, I. (2013). Recycling of bioplastics, their blends and biocomposites: A review. *European polymer journal*. 49, 2839 – 2858

WICHELNS, D. (2001). An economic perspective on the potential gains from improvements in irrigation water management. *Agricultural Water Management*. 52, 233 – 248

YAGHI, T.; ARSLAN, A. AND NAOUM, F. (2013). Cucumber (*Cucumis sativus*, L.) water use efficiency (WUE) under plastic mulch and drip irrigation. *Agricultural Water Management*. 128, 149 – 157

ZHANG, G.; ZHANG, X. AND HU, X. (2013). Runoff and soil erosion as affected by plastic mulch patterns in vegetable field at Dianchi lake's catchment, China. *Agricultural Water Management*. 122, 20 – 27

<http://cultivehortaorganica.blogspot.pt/2013> – acedido a 6 de Fevereiro de 2014

<http://vitalsigns.worldwatch.org> – acedido a 11 de Fevereiro de 2014

<http://www.novamont.com> – acedido a 11 de Setembro de 2013

<http://www.aeportugal.pt/Areas/AmbienteEnergia/RevistaPDF/Revista03/ReciclagemPlastico.pdf> – acedido a 28 de Novembro de 2013

[www.agrobiofilm.eu](http://www.agrobiofilm.eu) – acedido a 30 de Setembro de 2014

[www.japl-lojaonline.com](http://www.japl-lojaonline.com) – acedido a 12 de Fevereiro de 2014

[www.planetasustentavel.com.br](http://www.planetasustentavel.com.br) – acedido a 1 de Dezembro de 2014

[www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org) – acedido a 5 de Fevereiro de 2014

[www.snirh.pt](http://www.snirh.pt) – acedido a 17 de Fevereiro de 2014



## Anexos



Anexo 1 – Vista aérea do local onde foi realizado o ensaio, II - Alpiarça (GoogleEarth)



Anexo 2 - Vista aérea do local onde foi realizado o ensaio, III - Alpiarça (GoogleEarth)





Anexo 3 - Aspeto visual da parcela onde foi realizado o ensaio



Anexo 4 - Aspeto visual da cultura no estado de maturação



Anexo 5 – Fita de rega usada na experiência